الأستاذ الدكتور

محمد باسل الطائي

الكون والعدم

بحث في صيرورة العالم، تطوره وغايته



هذا الكتاب سفر من التساؤلات والاجابات، هو جمع من الرؤى والإستكشافات، هو حصيلة تأمل وتساؤل عن معنى الوجود وغاية العالم. يعرض لنا الوجود من الذرة إلى المجرة برؤية لمستكشف لهذا العالم في ما نعلم وما لانعلم عنه...هذا الكتاب سياحة من العدم إلى الكون إلى العدم.....

المحتويات

المقدمة

أقصد بـــ(الكون) حال التكوين. يقول الشريف الجرجاني "الكونُ "**اسمٌ لما حدث دفعةً، كانقلاب الماء هواء، فإن الصورة الهوائية كانت ماءً بالقوة، فخرجت منها إلى الفعل دفعةً، فإذا كان على التدريج فهو الحركة. وقيل:** الكونُ **حصولُ الصورةِ في المادةِ بعد أن لم تكن حاصلةً فيها، وعند أهل التحقيق:** الكونُ: **عبارة عن وجودِ العالم من حيث هو عالمٌ لا من حيث إنه حق، وإن كان مرادفاً للوجودِ المطلق العام عند أهل النظر، وهو بمعنى المُكوَّن عندهم**". وبهذه المعاني يكون الكون ضد العدم. ولهذه المعاني كان عنوان الكتاب.

هذا الكتاب سياحة سريعة في أهم مواطن الفيزياء الحديثة: فيزياء الكموم والنسبية، فيه عرض لمكامن قوتها ومكامن ضعفها، باسلوب مبسط حرصت فيه على توضيح المفاهيم بأفضل ما أمكنني. وهو ليس بكتاب مدرسي، بل كتابٌ يهدف إلى عرض النظريات الكبرى في الفيزياء المعاصرة ونقدها في مكامن القوة والضعف. ويستطيع القارئ المتمحص أن يجد في ثنايا النقد مقترحات علمية عميقة وأفكار جديدة. وقد توخيت الايجاز والاقتضاب في العرض الرياضي لكي تكون مساحة المفاهيم أكبر؛ فالكتاب معروض لشريحة كبيرة من القراء والدارسين. كما توخيت إحالة القارئ إلى أهم الكتب المرجعية التي اعتمدتها والى الأوراق البحثية الأصلية لكي يتمكن القارئ من التوسع في الدرس والبحث إن شاء.

وفي الكتاب حواش توضيحية هدفها توسعة نطاق المستفيدين من الكتاب يقرأها من رغب فيها ويتجاوزها من لم يرغب.

وبهذه المناسبة أود أن أتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى الأستاذ الدكتور عبدالفتاح لحلوح مدير مركز الفيزياء النظرية والتطبيقية بجامعة اليرموك على تشجيعي كتابة هذا الكتاب، الذي جاء في أعقاب محاضرة ألقيتها في المركز أواخر عام 2008، وأشكر زملائي الأكارم في قسم الفيزياء لما أفادوني به من آراء وأفكار من خلال المناقشات التي تجري بين الحين والآخر بشأن هموم الفيزياء المعاصرة في نجاحاتها وإخفاقاتها. ولزوجتي الفاضلة ندى على صبرها علي وأنا أقضي الساعات الطوال مع الكتب والكمبيوتر ولقيامها بمراجعة نصوص الكتاب لملاحقة الأخطاء الطباعية التي وقعت وتصويبها.

أ.د محمد باسل الطائي

اربد في 20 آب 2010

تنويه حول المصطلحات العربية

اللغة عندي ليست وسيلة للتواصل ونقل الأفكار حسب، بل هي وسيلة للتفكير. وبمقدار ما تكون اللغة ثرية ومكتنزة بقدر ما تكون الأفكار التي تعبر عنها دقيقة وعميقة. ولقد شاع في العقود القليلة الماضية أن اللغة العربية لا تصلح لإستيعاب المصطلح العلمي المعاصر، على حين أنني أجد التقصير عند أولئك الذين يتداولون لغة لا يحسنونها. بل لعل أن العربية هي من أفضل اللغات العالمية قدرةً على استيعاب العلم وتطويره.

استعملتُ في الكتاب غالباً المصطلحات المتداولة والدارجة في العراق والأردن ومصر وبقية الدول العربية. لكنني فَضّلت أحياناً استعمال مصطلحات أخرى ربما بدت جديدة وغير متداولة على نطاق واسع، كلما وجدت ضرورة لذلك. ويأتي هذا بعد الخبرة الطويلة التي اكتسبتها خلال أكثر من ثلاثة عقود في دراسة وتدريس المواضيع التي احتواها الكتاب.

وأول هذه المصطلحات (ميكانيك الكموم)، فإن الدارج هو مصطلح (ميكانيك الكم) مفرداً. إلا أن نفراً من الدارسين العرب أحتجوا أن هذا المصطلح لا يفي بالغرض وصاروا يستعملون بدلاً عنه (ميكانيك الكوانتم) أو (الميكانيك الكوانتي)، وهذه فيما أجد غير مناسبة تشذّ بالتفكير فضلاً عن اللسان. لذلك استبدلت المفرد بالجمع مخالفاً الترجمة الحرفية للمصطلح فجعلته (ميكانيك الكموم) وهكذا صار الإستعمال يأتي جمعاً حيثما ورد. ولقد نوّهت في الهوامش حيثما وجب عن المصطلحات الجديدة التي تفرَّدت بها.

1

تمهيد لثورة في العلم

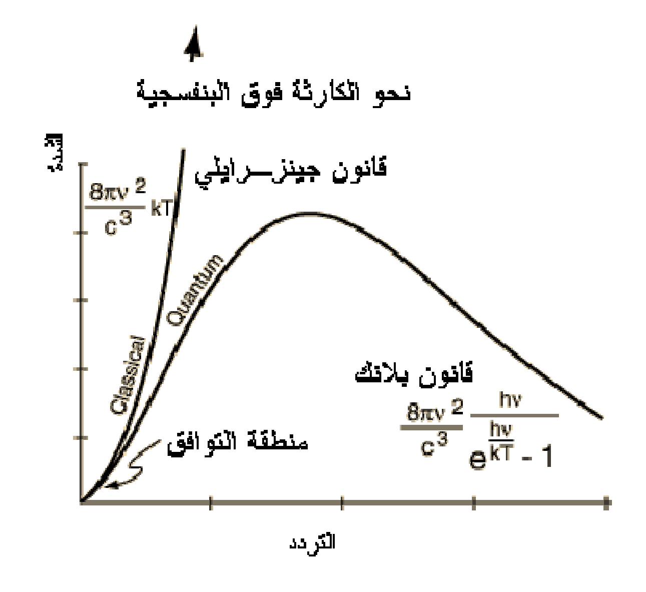
تماماً كما نحن الآن، كان كثير من الفيزيائيين قرب نهاية القرن التاسع عشر يعتقدون بأن فهم العالم إجمالاً وتفصيلاً يوشك أن يكتمل، ويوشكُ الفيزيائيون أن يتوصلوا إلى نظرية شاملة لكل شيء، نظرية كل شيء Theory of Every Thing كما تسمى اليوم. فالنظام الشمسي صار مفهوماً للفلكيين وقوانين نيوتن في الحركة والجاذبية كفيلةٌ بتوصيف حركات الشمس والقمر والكواكب والمذنبات وبقية الأجرام السماوية بدقة عالية وقادرةٌ على التنبوء بمواقع هذه الأجرام ذوات الحركات الدورية لآلاف السنين القادمة. إذ تمكّن علم الفلك مع بداية القرن العشرين من معرفة أوقات حصول ظواهر الخسوف والكسوف بدقة تصل إلى أجزاءٍ من الثانية الزمنية. وتمكن الفلكيون من تقدير مواقع الكواكب في السماء إلى حدود أجزاء ضئيلة من الثانية القوسية.

وقد صارت المادة وتصرفها على مستوى أدنى دقائقها مفهومةً بعد أن أرست النظرية الحركية للغازات Kinetic Theory of Gases أُسس الحساب الديناميكي وبعد أن صار ممكنا اشتقاق قوانين الثرموداينميك بالاستناد إلى هذه النظرية بدعم من إحصاء بولتزمان. وتفاعل الاشعاع مع المادة وانتقاله عبر الفضاء صار مفهوماً أيضاً أو يكاد. كيف لا وقد تمكن جيمس كلارك ماكسويل عام 1864 من توحيد المجالين الكهربائي والمغناطيسي في صيغة مجال واحد هو المجال الكهرمغناطيسي Electromagnetic Field وجعل هذا المجال ممثلاً حقيقياً لأشكال كثيرة من الطاقة بما فيها الطاقة الحرارية. ولما كان الضوء جزءً من المجال الكهرمغناطيسي فقد صارت ظواهر علم البصريات مفهومة على نحو واضح الآن. إذ تمكن الفيزيائيون من تفسير ظواهر الانكسار والانعكاس والتداخل والحيود والاستقطاب التي يشاهدونها في مختبراتهم بموجب الوصف الموجي والمجال الكهرمغناطيسي.

لكن أموراً هنا وهنالك بقيت غير مفهومة وتحتاج إلى تمحيص وتدقيق، تصور الفيزيائيون إمكانية حلها سريعا ومنها:

المعضلة الأولى: علاقة شدة الإشعاع الحراري مع تردده وكيفية توزيع كثافة الإشعاع على (الترددات) أو الأطوال الموجية للطيف الحراري. إذ أن نظرية ماكسويل التي وحَّدت المجالين الكهربائي والمغناطيسي، قدمت وصفاً للمجال الحراري (بكونه مجالاً كهرومغناطيسياً) تكون بموجبه شدة الاشعاع متناسبةً مع مربع التردد تناسباً طردياً دوماً، مما يعني أن طاقة الاشعاع الحراري تزداد كلما زاد التردد وهذه ستكون كما مبين في الشكل (1) أدناه.

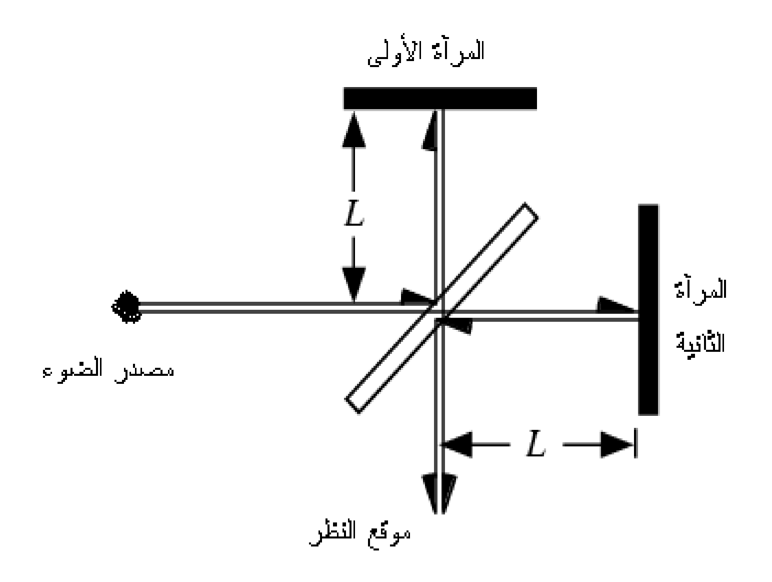
وقد حاول فيزيائيون عديدون تفسير التصرف الطبيعي للإشعاع بموجب القوانين السائدة، لكنهم لم يتمكنوا إلا من تفسير جزء من التوزيع الذي يشاهدونه في المختبر، إذ تمكن جينز Jeans ورايلي Raleigh من تفسير التناسب الطردي للجزء الأول من المنحنى على حين إستطاع ڤين Wien تفسير الجزء الأخير من المنحنى وفق فرضيات تخص تكوين الاشعاع وتوزيعه، ولكن كان من المطلوب استكمال الصورة وتفسير المنحنى كاملاً. وقد سميت مشكلة توزيع كثافة الاشعاع هذه "الكارثة فوق البنفسجية" Ultraviolet Catastrophy وذلك لأن النظرية الكهرمغناطيسية تتفق مع التجارب في جزء الاشعاع عند الترددات الواطئة لكنها تصاب بكارثة عند الترددات العالية.



الشكل(1) طيف إشعاع الجسم الأسود والكارثة فوق البنفسجية

المعضلة الثانية: كيفية انتقال الإشعاع الكهرمغناطيسي خلال الفراغ. فقد كان من المسلَّم به أن الموجات تحتاج إلى وسط ناقل يحملها؛ لأن الموجة في المفهوم الأساس هي اضطراب في وسط مادي. وكان الفيزيائيون قد افترضوا وجود وسط شفاف يملأْ الكون كله أسموه الأثير Ether به حاولوا أن يفسروا كيفية انتقال الضوء عبر الفضاء الخالي. والحق أن هذا الافتراض قديم ظهر أصلاً ربما على عهد أرسطوطاليس (384 ق.م ــ322 ق.م) إذ وصفت به الأجرام السماوية وحركاتها فظن اليونان أن تلك الأجرام هي أجسام أثيرية. وهذا الأثير كان يُعدُّ العنصر الخامس في منظومة العناصر الأساسية المؤلفة للعالم. والأربعة الأولى منها هي النار والتراب والهواء والماء، تؤلف مكونات العالم السفلي على حين يؤلّف الأثير مادة العالم العلوي السماء وأجرامها. وبالمثل عندما اُكتشفت الظواهر الكهرمغناطيسية حاول الفيزيائيون تفسيرها بالقول أنها ناتجة عن تفاعل المادة مع الأثير. فحركة المغناطيس في الأثير المحيط بسلك موصل تؤدي إلى توليد تيار كهربائي في السلك. لكن أحداً لم يستطع إثبات وجود الأثير فيزيائياً فهو وسط إفتراضي عجيب له خواص تبدو متناقضة. فعلى حين تكون كثافته قليلة جداً، مُشِفاً لا نحس بتأثيره، تكون مرونته عالية جداً. وهذا ما أربك الفيزيائيين وجعلهم يبحثون عن تفسير لكيفية تولد الإشعاع وانتشاره في الفضاء الخالي من المادة. ولقد بذل أنطون هندريك لورنتز Lorentz جهداً كبيراً في دراسة هذا الأثير الافتراضي وعلاقته بالاشعاع وانتشاره.

وإذا كان الأثير وسطاً كونياً يَعُم العالم فهل لنا أن نعرف سرعة الأرض، مثلاً، بالنسبة لذلك الوسط الكوني العام؟ لغرض الاجابة على هذا السؤال قام ألبرت مايكلسن (1852–1931) وإدوارد مورلي (1838–1923) بتجاربهم الشهيرة على مدى أعوام عديدة نهاية القرن التاسع عشر مستخدمين تقنية التداخل الضوئي من أجل قياس سرعة حركة الأرض في الأثير. كان جهاز التجربة يتألف من مرآتين مثبتتين على منضدة بصورة تجعلهما متعامدتين على بعضها يتوسطهما لوح زجاجي نصف شفاف (الشكل2).



الشكل (2) منضدة تجربة مايكلسن ومورلي

فإذا مر شعاع ضوئي من المصدر عبر اللوح نصف الشفاف فإن جزءً منه سينعكس ويذهب إلى المرآة الأولى التي تعكسه بدورها على مساره ليمر عبر اللوح نصف الشفاف ملتقياً بالشعاع الثاني المنعكس عن المرآة الثانية. وعند التقاء الشعاعين ينكشف ما إذا

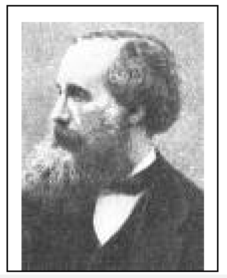
كان أحدهما قد تعرض إلى إعاقة أو دعم على مساره، وذلك من خلال تكوّن أهداب التداخل نتيجة اجتماع الشعاعين. وهذه الأهداب تظهر على شكل دوائر مضيئة ومعتمة متمركزة حول نقطة. فإذا ما ظهرت أهداب تداخل كان هنالك اختلاف بين مساري الشعاعين ولابد. أما إن لم يكن من إختلاف لم تظهر الأهداب. والفكرة في هذه التجربة أن عدد الأهداب الظاهرة وصِفاتها سيكشف عن سرعة الأرض بالنسبة إلى الأثير المفترض. لكن التجارب آظهرت عدم وجود أهداب تداخل، مما يعني أن السرعة النسبية بين الأرض والأثير هي صفر. وهذا ما وضع نظريات لورنتز وغيره بشأن الأثير وتفاعل المجال الكهرمغناطيسي معه موضع الشك. وبالتالي بدا وكأن الأمر بحاجة إلى شيء من المراجعة الأساسية.

المعضلة الثالثة: عدم فهم أسباب ظهور الطيف الكهرمغناطيسي للأجسام الساخنة على الوجه الذي هو عليه من توزيع مخصص يتميز بظهور خطوط براقة Bright Lines وخطوط داكنة Dark Lines ضمن تسلسل رقمي عجيب وفق سلاسل طيفية تم التعرّفُ عليها بعد جهود كبيرة. فقد شكلت تلك السلاسل الطيفية التي تظهر عند تسخين الغازات أو تعريضها لمجالات كهربائية كثيفة تحديا للعقل العلمي وأصبح من الضروري تفسيرها.

وكانت هنالك أيضاً مشكلات أخرى منها عدم إمكانية تفسير صدور الألكترونات عن المواد تحت تأثير الإشعاع بطاقات حركية تتناسب مع تردد الإشعاع، وليس مع شدته كما هو متوقع

بموجب النظرية الكهرمغناطيسية. هذه المشكلة التي عرفت لاحقاً بإسم مشكلة الظاهرة الكهرضوئية Photoelectric effect.

فضلاً عن مسائل ناعمة هنا وهنالك، فقد شكلت تلك المعاضل مع نهاية القرن التاسع عشر أزمة للفيزياء الكلاسيكية.



جيمس كلارك ماكسويل

فيزيائي ورياضي اسكتلندي ولد في 13 حزيران 1831 في أدنبرة. درس الفيزياء والرياضيات في جامعة كمبردج واهتم كثيرا بدراسة الكهربائية والمغناطيسية محاولاً تفسير الظواهر الناتجة عنهما. وكان عمالقة تجريبيون قبله قد كشفوا عن كثير من الخواص الطبيعية لهذه الظواهر. درّس في جامعة أبردين باسكتلندة ثم انتقل إلى كلية الملك بلندن حيث كانت أكثر سنوات عمره انتاجا علميا وثراءً فكرياً. هو دون شك عبقرية كبيرة وجرأة عالية إذ وضع الكثير من التصورات عن كيفية نشوء المجال المغناطيسي عن حركة التيار الكهربائي والعلاقة بين المغناطيسية والكهربائية فوضع معادلاته الأربعة التي تسمى بإسمه ولكن ليس بصيغتها التي نعرفها اليوم فلم يستخدم ماكسويل هذه المتجهات الأنيقة بل استخدم رموزا غيرها لكنها تحتوي نفس المضامين. توفي ماكسويل في 5 تشرين الثاني من عام 1879 السنة التي ولد فيها ألبرت أينشتاين.

بلانك: تكميم الطاقة

أما المعضلة الأولى فقد تصدى لها الفيزيائي الألماني ماكس بلانك (1858–1947) الذي كان درس فيزياء الحرارة وقوانينها على يد شيوخها هلمهولتز وكيرشوف ممن أسسوا لقوانين الثرموداينميك. لقد تعامل بلانك مع الإشعاعات الحرارية المنبعثة من جسم ساخن وكأنها جزيئات منفصلة مؤلفة من متذبذبات كهرمغناطيسية لكل منها تردد ν وطاقة ε. وقد إفترض بلانك علاقة بين طاقة المتذبذب وتردده هي

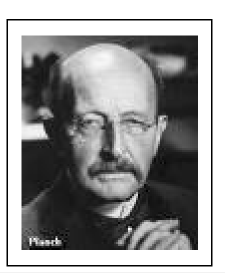
$$\varepsilon = h\nu$$

وبموجب هذا الفرض تكون كمية الطاقة الكلية المنبعثة من المصدر الحراري هي:

$$E = nh\nu$$

حيث n هو عدد الكموم التي يبثها المصدر و h هو ثابت بلانك وهو مقدار صغير جدا يبلغ 6.656×10^{-34} جول. ثانية. وبهذا الوصف تمكن بلانك من التوصل إلى التعامل مع الطاقة الحرارية وكأنها مؤلفة من متذبذبات مستقلة يربطها فقط نمط من التوزيع الإحصائي يتم بموجبه توزيع الطاقة على تلك المتذبذبات.

ماكس بلانك



ولد ماكس بلانك في 23 نيسان 1883 في مدينة كيل الألمانية. ونشأ في عائلة معظم أفرادها متعلم تعليما عاليا ويتقلد مناصب رفيعة فقد كان جداه أساتذة في علم اللاهوت وكان أبوه أستاذا في القانون وعمه كان قاضيا. درس في ميونخ بعد انتقال عائلته اليها ودخل إلى دراسة الفيزياء في جامعة ميونخ. ويقال أن أحد أساتذته أراد أن يثبط من همته في دراسة الفيزياء قائلا له: لقد تم اكتشاف كل شيء في هذا الحقل ولم يتبق إلا أن يتم ملئ بعض الثقوب هنا وهناك. لكن بلاك أجابه وأنا لا أطمح في اكتشاف شيء إنما أريد أن أفهم الأساسيات في هذا الحقل. في العام 1888 ذهب بلانك إلى برلين ودرس على كيرشوف وهلمهولتز. ثم قدم رسالته لنيل الدكتوراه في الفيزياء النظرية عام 1879. ساهم بلانك في دعم نظرية النسبية الخاصة والترويج لها لكنه من جانب آخر لم يكن ليقبل بأفكار أينشتاين بخصوص تفسير الظاهرة الكهرضوئية والتفسير الجسيمي للضوء رغم أن ذلك التفسير يقوم على نظريته التي تكمم الأشعاعات الحرارية. حصل ماكس بلانك على جائزة نوبل عام 1918، تولى بعدها مناصب أكاديمية عديدة في أجواء سياسية غير مريحة أحياناً وتوفي في 4 تشرين الأول 1947 في مدينة كوتنجن.

لم يكن بلانك واثقاً تماماً من هذه النتيجة إذ أنه عانى الكثير من أجل أن يتفهم بعمق مضمونها الفيزيائي بعد وقت طويل، فهذه النتيجة تعني أن مجال الموجات الحرارية غير متصل بل هو أشبه بجزيئات منفردة Discrete. وتؤكد الوثائق التاريخية أن بلانك كان يصر على أن يُقْصر نفاذ هذه الصيغة على الأمواج الحرارية[1]. والحق أن بلانك إكتشف بهذا أول قانون لتكميم الطاقة عموماً، فالطاقة الكهرمغناطيسية تنبعث وتمتص من المادة على شكل كموم كل منها تحمل قدراً معلوماً من الطاقة هو $h\nu$. وتقديراً لهذا الانجاز حصل بلانك على جائزة نوبل عام 1918.

لكن ألبرت أينشتاين أخذ صيغة بلانك هذه وقام بتطبيقها على الإشعاع الضوئي، بمعنى أنه أعمها على مدى النطاق الكهرمغناطيسي كله بعد أن أطلع على التجارب العملية التي قام بها آخرون مثل لينارد، وتمكن بذلك من تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect مؤكداً شمولية صيغة بلانك ومصداقيتها. وتقديراً لهذا الإنجاز، وليس لنظرية النسبية، حصل أينشتاين على جائزة نوبل عام 1921.

أينشتاين: حل مشكلة الأثير

بذات الوقت كان ألبرت أينشتاين (1879–1955) يفكر في حل مشكلة انتقال المجال الكهرمغناطيسي عبر الخلاء. إذ كان الفيزيائيون الذين سبقوه قد تصوروا المجال الكهرمغناطيسي ناشئاً عن تفاعل الأجسام المشحونة أثناء حركتها في الأثير. ومن هذا المنطلق كان الأثير هو

---

[1] M.S. Longair, Theoretical Concepts in Physics, Cambridge University Press, 1984.

مرجع مطلق للحركة. لذلك قام أينشتاين بمراجعة الأفكار الأساسية حول هذه المسألة والتي كانت تتمحور حول دراسة حركة الجسيمات المشحونة وأهمها أبحاث لورنتز. فالأثير هو الوسط المفترض لنقل الاشعاعات الصادرة عن الجسيمات المشحونة. ولما كان الأثير وفق الاعتقاد الكلاسيكي هو الوسط الذي يساهم في توليد المجال الكهربائي في السلك الموصل عند حركة المغناطيس فيه فقد تسائل أينشتاين عن سبب عدم تولد المجال الكهربائي قرب المغناطيس حين نحرك السلك قربه على حين يعود المجال الكهربائي ليتولد في السلك نفسه؟ وهذا تساؤل مشروع. لكن التصور الكلاسيكي كان يقوم على اعتبار الأثير مكانا مطلقا منتشرا في جميع أرجاء الكون، وبالتالي فإن فيزيائيي ذلك العصر كانوا يجيبون بأن حركة المغناطيس في الأثير هي غير حركة السلك في الأثير. وهكذا صار هذا الحد الأوسط، أعني الأثير، عقبة الكأداء في فهم ظاهرة تولد التيار الكهربائي.

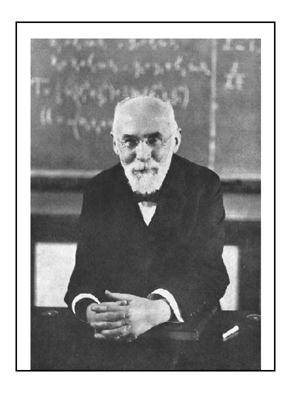
لاحظ أينشتاين أن مفهوم الفيزيائيين للزمان والمكان، وهي المتغيرات الرئيسية للحركة، تقوم على مُسلِّمة تقول باستقلالية الزمان عن المكان، في الوقت الذي كانت فيه أبحاث لورنتز وغيره تشير إلى وجود نوع من التكامل بين الزمان والمكان بما يجعلهما وحدة واحدة. تأمل أينشتاين حركة الضوء ولاحظ أن قوانين ماكسويل تشير إلى أن سرعة الضوء ثابت كوني لا يعتمد على الحالة الحركية للراصد أو المصدر. هنا وضع أينشتاين يده على سر مهم من أسرار العالم. من جانب آخر رأى أينشتاين أن قوانين الفيزياء يجب أن تكون واحدة بالنسبة لجميع الراصدين الذين يتحركون بسرع ثابتة على الأقل، فضلاً عن كونها واحدة بالنسبة

لجميع المواقع في المكان وجميع اللحظات في الزمان. لكن ما الذي يوحد هذه القوانين إذا كان الزمان منفصلاً عن المكان وكان كل منهما متغيراً مستقلاً؟ وهنا انتبه أينشتاين إلى ضرورة أن يكون المكان متصلاً بالزمان عبر ما يربطهما وهو سرعة الضوء. لكنه وجد أن مثل هذا الرابط لابد أن يكون مقداراً ثابتاً بالنسبة لجميع الراصدين؛ لأنه لو لم يكن كذلك لن يكون هنالك مرجع للسرعة والحركة. وهكذا ذهب أينشتاين إلى الفرض القائل بأن سرعة الضوء في الفراغ هو مقدار ثابت لا يتأثر بسرعة الراصد أو المصدر. لكن هذا لا يمكن أن يحصل ما لم يكن الزمان والمكان نسبيان يعتمدان على الحالة الحركية للراصد. وهنا لاحظ أينشتاين أن قوانين لورنتز في الحركة المسماة تحويلات لورنتز Lorentz Transformations التي تصف علاقات الزمان والمكان والمشتقة أصلاً من الخصائص الحركية للمجال الكهرمغناطيسي توفر الأرضية اللازمة لتغطية مثل هذه الفرضية. وبهذا توصل إلى أن الفترة المؤلفة من حركة الضوء في المكان خلال برهة من الزمان يجب أن تكون كمية لا تغيرية Invariant تحت تحويلات لورنتز. أي يكون

$$c^2(\Delta t')^2 - (\Delta x')^2 + (\Delta y')^2 + (\Delta z')^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$

حيث أن الإحداثيات المرموزة بالفتحات هي لراصد متحرك بسرعة ثابتة بالنسبة إلى راصد آخر. بهذا وضع أينشتاين يده على كمية ثابتة جديدة في الفيزياء هي الفترة الزمكانية Spacetime Interval

$$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$



هندريك أنطون لورنتز

فيزيائي دنيماركي ولد في 18 تموز 1853 وتوفي في 4 شباط 1928. هو واحد من عمالقة الفيزياء الكلاسيكية. بذل جهدا نظريا كبيراً في محاولة لصياغة نظرية لحركة الشحنة الكهربائية وانبعاث الأشعة الكهرمغناطيسية عنها عندما تتسارع. إكتشف في خضم بحوثه أن قوانين ماكسويل في الكهرمغناطيسية لا تخضع لتحويلات غاليليو التي تجعل الزمان معاملاً مطلقاً وثابتاً مستقلاً عن المكان. بل وجد أن الزمان والمكان كلاهما مرتبط بالآخر وبهذا فقد كان له الفضل الأول في إكتشاف كينونة الزمكان التي أسست لنظرية النسبية الخاصة دون أن يعلم كافة مضامينها. تمسك لورنتز كثيراً بفكرة الأثير وحاول الدفاع عنها إلى آخر رمق حتى اكتسح الساحة ألبرت أينشتاين بنظرية النسبية.

لاحظ أن الفترة الزمكانية هي الفرق بين مربع المسافة التي يقطعها الضوء خلال زمن قدره Δt (المسافة الزمانية) ومربع المسافة المكانية $(\Delta l)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$. لكن هذا يعني أن المسافة المكانية التي يقيسها راصد معين هي ليست بالضرورة نفس المسافة التي يقيسها راصد آخر، والفترة الزمانية التي يقيسها راصد ما تختلف عن ما يقيسه راصد آخر. وبالتالي فإن حدثين يحصلان في آن واحد، أي متزامنين، بالنسبة إلى راصد ما لن يكونا بالضرورة حدثين متزامنين نسبة إلى راصد آخر. وهذا ما ينسف الفكرة المعهودة عن التزامن Simultaneity.

هذا فضلاً عن أن الزمان قد صار متغيراً مماثلاً للمكان تماماً. مما يعني أن الكميات الفيزيائية المتجة كالقوة والزخم ستصبح الآن ذات مُرَكِّبات أربعة بدلاً من ثلاثة. وإن مقدار أية كمية متجهة سيصبح الآن مؤلفاً من أربعة مُرَكِّبات بالضرورة، ثلاثة للمكان وواحدة للزمان. وهذا

الذي جعل هرمان منكوفسكي (1864–1909) يأتي لاحقاً بمفهوم جديد وهو البعد الرابع حيث أصبح الفضاء الكامل لديه رباعي الأبعاد، كله بمجموعه يؤلف المتصل الزمكاني Spacetime Continuum. وقد تبنى أينشتاين هذا التصور وصار ركناً أساسيا في نظريته عن العالم. وفي الحاشية التالية محاولة لتصوير البعد الرابع وتقريبه من الأذهان.

حاشية (1) كيف نعقل وجود البعد الرابع؟

لا يمكننا أن نتصور عالماً مؤلفا من أربعة أبعاد، لكننا نتمكن من أن ندرك مثل هذا العالم قياساً إلى العالم الثلاثي الأبعاد. العالم أو الفضاء الثلاثي الأبعاد مثل علبة الكبريت له طول وعرض وارتفاع. لكننا لو نظرنا إلى سطح العلبة نفسها لوجدنا فضاءً ثنائي الأبعاد، هو طول وعرض أو طول وارتفاع أو عرض وارتفاع، وهذا هو تعريف السطح المستوي هندسياً. يعني هذا أن الفضاء الثنائي الأبعاد هو مقطع في الفضاء الثلاثي الأبعاد. كذلك فإننا نرى ضلع العلبة يمثل أمامنا خطاً له بعد واحد فهو إما طول أو عرض أو ارتفاع. وكما هو واضح ما قلناه فإن الخط ينشأ عندما يتقاطع سطحان. وهكذا لو أننا قطعنا الخط بخط آخر لنشأت عندنا نقطة. والخط هو ليس إلا مجموعة نقاط. والنقطة هي فضاء عديم الأبعاد.

نحن كائنات ثلاثية البعد وعالمنا الذي نراه يبدو ثلاث الأبعاد أيضا، لذا لا نستطيع أن نتصور عالماً أكثر من ثلاثي الأبعاد. لكن هذا لا يمنع من وجود عوالم ذات أبعاد أكثر، فليس العالم مرهوناً بتصوراتنا. وفعلاً فقد إفترضت نظرية النسبية التي صاغها أينشتاين أن عالمنا الذي نعيش فيه مؤلف من أربعة أبعاد، ثلاثة منها هي المكانية المعروفة أما البعد الرابع فهو الزمان. **هل نحن سجناء في أبعاد ثلاثة!!** لأننا كائنات ثلاثية الأبعاد ونعيش في فضاء رباعي الأبعاد، فإن عالمنا الذي نحسه مباشرة هو العالم الثلاثي الأبعاد ولا يوجد شيء خارج عالمنا هذا، ولا نتمكن من تصور شيء خارج هذا العالم . فنحن سجناء، نعم، في هذا العالم سجناً حقيقياً. لكننا نحس بالبعد الرابع الذي هو الزمن من خلال التغير والتطور. ومن ذلك توسع الكون وتباعد مجراته عن بعضها البعض. وبوجودنا في فضاء ثلاثي الأبعاد الذي هو الجزء

المكاني من الكون فنحن موجودون على سطح (أي مقطع) في الكون الرباعي الأبعاد الذي قصده أينشتاين. ولكن السؤال المهم الذي يبرز أمامنا: **هل يمكننا الهروب من السجن؟؟**

لو كان لدينا كائن ثنائي البعد لتمكنا من سجنه على سطح ورقة لا يغادرها. لأنه لا يعلم بوجود البعد الثالث. وحتى لو عرف بوجود البعد الثالث فإنه لا يعرف كيف يستخدمه. وللسبب عينه فنحن مسجونين في العالم الثلاثي الأبعاد. لكننا هنا أزاء فارق واحد مهم هو أننا رغم كوننا كائنات ثلاثية البعد مكانيا إلا أننا نمتلك وجوداً في البعد الرابع من خلال التحول والتغير الذي يصيبنا؛ نمونا هو وجود في البعد الرابع. فلو أننا تمكنا من المروق إلى البعد الرابع واستخدمناه للهروب لأمكننا ربما الهروب من السجن الذي نحن فيه. الحركة في الزمن هي حركة نحو المستقبل. لكن الحركة في بعدين مكانيين وبعد رابع زماني سيمكننا من قطع المسافات المكانية بالطفرة، أي دون المرور بالأمكنة بينهما. وهذا ما كان ابرهيم النظّام يحلم به. لكن هذا يتطلب تسطيح الثلاثي إلى ثنائي لغرض اختزال الأبعاد الثلاثة إلى إثنين. ثم إضافة الزمن. لكن كيف يحصل هذا؟؟ حتى الآن لا تتوفر تقنية لتحقيق هذه الفكرة عملياً. لكن ربما نتمكن من تحقيق شيء منها على الصعيد المجهري. لا أدري إن كانت فيزياء الكموم لتقدم شيئاً يُسهّل عملية الاختزال والجمع. ربما نعم وربما يتطلب هذا توحيد الكموم والنسبية العامة!!!

لقد غيرت هذه المفاهيم الجديدة التي أطلق عليها فيما بعد أسم نظرية النسبية الخاصة The Special Theory of Relativity الكثير من المفاهيم التقليدية في الفيزياء. وكشفت عن حقائق خطيرة لم تكن معروفة من قبل وأهم هذه الحقائق تكافؤ الطاقة والكتلة، وهي التي يصفها القانون الشهير: الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

$$E = mc^2$$

حيث أن m هي كتلة الجسم و c هي سرعة الضوء.

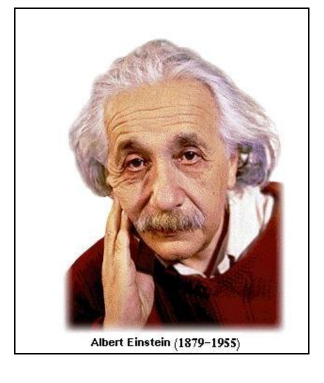
وقد تجرأ أينشتاين في ورقته التي نشرها عام 1905 حول هذا الموضوع فقال إن هذا التكافؤ يمكن أن يتحقق ربما في عمليات النشاط الإشعاعي. فإن قدراً ضئيلاً من الكتلة يمكن أن يتحول إلى قدر هائل من الطاقة[2]. على أنني أود أن أشير إلى أن جرأة أينشتاين لم تأت من فراغ بل إن اشتقاق قانون الطاقة والكتلة أساساً أوحى له بهذه الإمكانية. حيث ظهر له بوضوح أن الزيادة الظاهرة في كتلة الجسم أثناء حركته هي بالضبط الطاقة الحركية التي يكتسبها مقسومة على مربع سرعة الضوء. لكن الجرأة كل الجرأة كانت في تعامل أينشتاين مع القياسات النسبوية كقياسات حقيقية.

لقد كان من نتائج النسبية الخاصة أن الكتلة تزداد أثناء حركتها بالنسبة إلى راصد ساكن. والزيادة في الكتلة هي ليس إلا الطاقة الحركية التي يمتلكها الجسم جراء الحركة مقسومة على مربع سرعة الضوء كما قلنا. وهكذا ظهر مفهوم الطاقة الكلية للجسم، وهي طاقة كتلة سكونه (أي كتلته في حال السكون مضروبة في مربع سرعة الضوء) مضافاً اليها طاقته الحركية. فضلاً عن ذلك فقد كشفت نظرية النسبية الخاصة عن ظاهرة إنكماش الطول. فالمسافات التي نراها هي ليست بالقدر الثابت المطلق لها بل تعتمد المسافة المُقاسة على سرعة الراصد. وكلما كانت سرعة الراصد أكبر كانت المسافة المقاسة أقل. بمعنى أن المسطرة التي طولها متر واحد ربما تبدو بطول 50 سنتيمترا بالنسبة لراصد متحرك بسرعة كبيرة. كما ظهر مفهوم تباطؤ الزمن Time Dilation وبموجبه تصبح الفترة الزمنية المُقاسة لحدث ما من قبل راصد متحرك بسرعة

[2] A. Einstein, Does the Inertia has Energy?, Annalen der Physik, 18, 639 (1905)

كبيرة أطول كثيراً لنفس الحدث نسبة إلى المرجع الحركي الذي حدث فيه الحدث من الفترة الزمنية التي يقيسها مشاهد ساكن للحدث نفسه. لكن رغم إختلاف الأطوال واختلاف الأزمنة بالنسبة للمشاهدين المتحركين بسرع مختلفة إلا أن الفترة الزمكانية تبقى ثابتة للجميع. فهم جميعاً متفقون على قيمة تلك الفترة بما يؤدي دوماً إلى بقاء الفترة الزمكانية Δs ثابتة دون تغيير بالنسبة إلى جميع المراجع القصورية. وهذه الفترة هي ما يسمى الزمن الصحيح

ألبرت أينشتاين


Albert Einstein (1879–1955)

أبرز الفيزيائيين النظريين في القرن العشرين. ولد في أولم بألمانيا في 14 آذار 1879. درس في مراحله الأولى في ميونخ وكان بارزا في دروس الرياضيات والفيزياء. ثم أكمل دراسته الجامعية في زيورخ بسويسرا وحصل على الدبلوما الجامعية في الفيزياء عام 1896. ثم عانى كثيرا من أجل الحصول على وظيفة يكسب منها رزقه حتى عمل في مكتب براءات الاختراع في مدينة برن بوظيفة مساعد فاحص لبراءات الاختراع التي كان أغلبها يتعلق بأجهزة كهربائية ومغناطيسية وأجهزة قياس الزمن. نشر بعض الأبحاث العلمية خلال تلك الفترة. لكن ضربته العلمية الكبرى جاءت في العام 1905 حيث نشر خمسة بحوث في مجلة حوليات الفيزياء. وفي السنة ذاتها حصل على الدكتوراه من جامعة زيورخ. بعدها ببضع سنوات ذاع صيته وعمل أستاذا في جامعة برلين بصحبة ماكس بلاك الذي أبدى له كثير من المساعدة. وفي العام 1915 نشر ألبرت أينشتاين نظرية النسبية العامة التي تقدم تصورا كونيا شاملاً. هاجر أينشتاين إلى الولايات المتحدة عام 1929. وعمل هناك في جامعة برنستون حتى وفاته عام 1955. كان ألبرت أينشتاين يمتلك حساً فيزيائيا كلاسيكيا مرهفاً مما جعله ربما أعظم فيزيائي عرفه التاريخ حتى الآن.

ربما لا تظهر تأثيرات الحركة النسبية التي تحدَّث عنها أينشتاين في حركاتنا اليومية كحركتنا في السيارة أو القطار أو حتى الطائرة لأن هذه

الأشياء تتحرك بسرع قليلة جداً مقارنة بسرعة الضوء التي تبلغ 300000 كيلومتر في الثانية. إلا أن لقوانين النسبية تطبيقات مهمة جداً في البنية الذرية والجسيمات الأولية وهي التي تكشف لنا عن حقائق العالم الدقيق بطرق صحيحة مستخدمين القوانين الصحيحة. ولولا اكتشاف تلك القوانين مبكرا من قبل أينشتاين لكان تأخر استكشاف خصائص العالم الذري فترة من الزمن.

كمثال على ذلك ما نجده من أن ميزونات (ميو) التي تتولد في طبقات الجو على أرتفاع يزيد على 6000 متر عن سطح الأرض تصل إلى سطح الأرض على الرغم من أننا نعرف أن عمر هذه الجسيمات لا يتجاوز 2 مايكروثانية قبل أن تتحلل ونظراً لأن هذه الميزونات تتحرك بسرعة 0.995 من سرعة الضوء فإنها لن تقطع أكثر من 600 متر. لكننا في الحقيقة نجدها قطعت 6000 متر أو أكثر. والسبب هو أن عمرها الظاهري في حالة السكون هو غير عمرها الحقيقي في حالة الحركة، إذ يصبح عمرها بموجب قانون تباطؤ الزمن بحدود 20 مايكروثانية وهذا ما يُمكِّنها أن تقطع 6000 متر.

الحق أن الإضافة الجوهرية لأينشتاين هي تشخيصه للثابت الموجود في تحويلات لورنتز على أنه ثابت كوني وليس سرعة الضوء في الوسط. ذلك أن c الواردة في تحويلات لورنتز يمكن أن تؤخذ خطأ على أنها سرعة الضوء وبالتالي ربما تصور البعض أننا لو كنا نعيش داخل الماء مثلاً ولا نعرف شيئا عن الفراغ فإن سرعة الضوء الداخلة في التحويلات هي سرعة الضوء في الماء. لكن هذا غير صحيح بل إن c الواردة في تحويلات لورنتز هي ثابت كوني وبالتالي لا تعتمد على الحالة

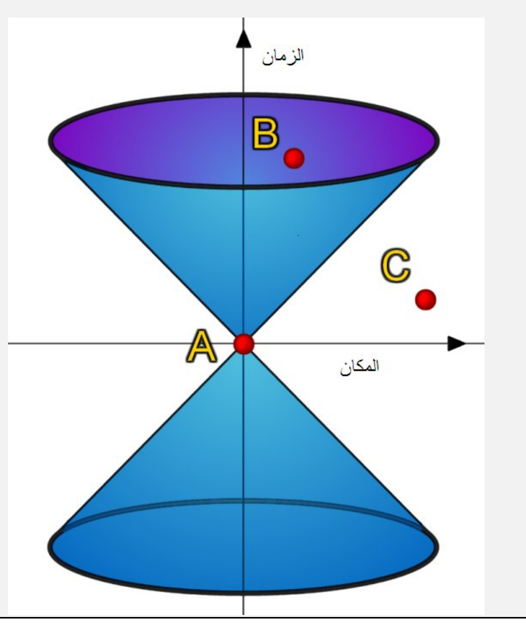
الحركية للراصد أو المصدر. وكان تشخيص أينشتاين أن هذه هي سرعة الضوء في الفراغ وبالتالي فإن سرعة الضوء في الفراغ هي صفة ذاتية للزمكان. ومن هذا المنطلق تمكن أينشتاين من بناء تصوره للزمكان والحركة في هذا الزمكان. لقد كان لهذا التصور إمتداده المهم جداً في نظرية النسبية العامة إذ وجد أينشتاين على أساسه أن الضوء يسلك معارج صفرية Null Geodesics في الزمكان خلافا لمسالك الجسيمات الأخرى كما سنرى.

المسألة الأعمق التي ينبغي الإشارة اليها في هذا الموضع أن نظرية النسبية الخاصة أعطت لتحويلات لورنتز قيمتها التطبيقية في نظرية الزمكان ومكَّنت الفيزيائيين من النظر إلى التناظرات التي تقوم عليها زمرة التناظر اللورنتزية Lorentz Symmetry Group بعين الاعتبار في نظرية المجال الكمومي. والحق أن التناظر اللورنتزي يختصر الكثير من الأشياء كما سنرى لاحقاً.

حاشية (2) المخروط الضوئي

قلنا أن نظرية النسبية الخاصة جمعت الزمان والمكان على صعيد واحد وأضافت الزمن كبعد رابع. ولتجسيد المفهوم بشكل واضح قام هيرمان منكوفسكي بوضع ما يسمى المخروط الضوئي لتجسيد فعاليات الزمان والمكان. وهذا المخروط يتألف من بعدين مكانيين وبعد ثالث زماني كما في الشكل التالي. حيث يكون المحور العمودي هو محور الزمن ويكون المحور الأفقي هو محور المكان. والخطين المائلين بزاوية 45 درجة هما الخطان اللذان يتساوى عندهما الزمان والمكان. وتمثل نقطة تقاطع المحورين نقطة الحاضر. فيما يمثل المخروط العلوي حوادث المستقبل والمخروط السفلي حوادث الماضي. إن أية إشارة تنتقل داخل هذين المخروطين تكون بسرعة لا تزيد عن سرعة الضوء في الفراغ. وهكذا نقول أن النقطتين A وB مرتبطتان سببياً

والثانية لا يمكن أن تحصل قبل الأولى. أما النقطتين A و C فليس مرتبطتان سـببياً لأن أية اشارة بينها ستنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء. إذن المنطقة التي تقع فيها النقطة C هي منطقة لا سببية Non-Causal بينما تكون المنطقة التي فيهـا A هـي منطقة سببية Causal.



قام ألبرت أينشتاين خلال السنوات العشر التي تلت نشر بحثه حول النسبية الخاصة بالعمل من أجل تحقيق توافق بين نظريته هذه وقانون نيوتن في الجاذبية، محاولاً توطين النسبية الخاصة مع الجاذبية من خلال مبدأ التكافؤ بين التسارع والجاذبية إلا أنه وجد بعد ذلك أن الصياغة الصحيحة تتطلب إعادة النظر جذرياً بنظرية نيوتن في الجاذبية جملة وتفصيلاً. وهكذا ذهب إلى استنباط مفاهيم جديدة وصياغة جديدة أصبح بموجبها المجال الجاذبي تحدباً للزمكان. فاتخذت الجاذبية معنى هندسياً. وهذا ما سنعود إلى مناقشته في فصل لاحق.



هرمان منكوفسكي

ولد عام 1864 في ليتوانيا، من جمهوريات الاتحاد السوفياتي سابقاً. درس في ألمانيا وحصل على الدكتوراه عام 1885. كان متميزاً في الرياضيات والهمدسة. منحته الأكاديمية الفرنسية للعلوم جائزة في الرياضيات عن عمله في الصيغ التربيعية. أصبح صديقاً للرياضياتي الألماني ديفيد هلبرت. وبعد تخرجه قام بالتدريس في بون وزيوريخ وهنالك كان من تلامذته ألبرت أينشتاين. له مساهمات مهمة في نظرية الأعداد وفي الهندسة وهو الذي اخترع المخططات الزمكانية التي ساعدت في تصوير تحويلات لورنتز هندسياً. توفي عام 1909 عن عمر ناهز 55 عاما إثر إصابته بالتهاب الزائدة الدودية.

كانت نظرية النسبية الخاصة أسست لتحول كبير في رؤيتنا للعالم فقد صادرت هذه النظرية مطلقات كثيرة كان القدماء يؤمنون بها. وأهم ما ينبغي أن نتذكره أن هذه النظرية مزجت المكان بالزمان فصارا كينونة واحدة. وبهذا اتجه العالم إلى التجريد وأعطى للفكر حرية أكبر في تصور عوالم أخرى ربما وجدت متداخلة مع عالمنا أو منفصلة عنه. وكان من نتائج هذا الامتزاج بين الزمان والمكان أن الكتلة أصبحت نوعا من تمظهرات الطاقة المكثفة حتى أنها في نمط معين يمكن أن تتحول من وجودها الكثيف إلى وجود لطيف تعبر عنه الاشعاعات الكهرمغناطيسية الناتجة عن هذا التحول. وهكذا انفتح أمام العالم باب واسع لإستثمار الطاقة التي تكمن في المادة فانبلج بالعلم فجر جديد.

2

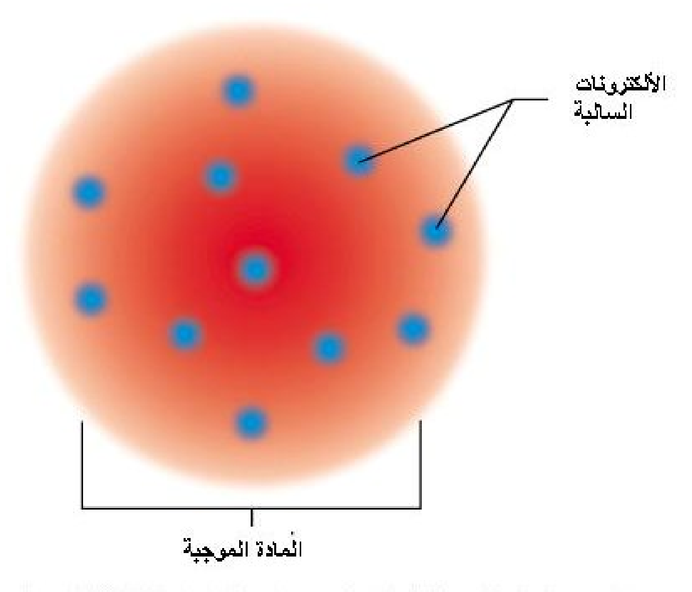
البنية الذرية

يؤرخ أول التفكّر في تكوين المادة بالفيلسوف اليوناني ديمقريطس (460–370 ق.م)، إذ يُنسب القول إليه أن المادة تتألف من ذرات. وتذكر مصادر تاريخ الفلسفة أنه قال إن العالم كله مؤلف من عدد لانهائي من الذرات، التي تصورها كرات مُصْمته تقوم كوحدات بنائية أولى للمادة. ولم ترد كثير من التفاصيل الموثقة بهذا الشأن عدا تلك المزاعم العامة. لكن مؤرخي العلم ومؤلفي الكتب كثيراً ما يقفزون من تلك المرحلة المبكرة إلى القرن الثامن عشر فيذكرون أن جون دالتن الأنكليزي (1766–1844م) هو واضع البناء الذري الحديث للمادة دون أن يذكروا كلمة واحدة عن التصور الذري الذي قدّمه المسلمون. ولسنا هنا في موضع الحديث عن هذا لكننا وتوخياً للأمانة التاريخية نحيل القاري إلى مصادر حديثة إحتوت دراسات مستفيضة عن التصور الذري الإسلامي الشامل لبنية العالم المادة والطاقة والزمان والمكان وكل مافيه، فلعله يجد فيهما ما يفي بتثبيت الحقائق التي تؤكد دور المسلمين في تصوير البنية الذرية للعالم[3].

[3] أنظر: الدكتورة منى أحمد أبو زيد، التصور الذري في الفكر الفلسفي الإسلامي، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت 1994؛ محمد باسل الطائي، المذهب الذري عند المتكلمين المسلمين، دراسات شرقية، العدد24/23، باريس 2005. كذلك كتابنا: دقيق الكلام الرؤية الإسلامية لفلسفة الطبيعة، عالم الكتب الحديث، 2009.

نعم صحيح القول أن تبلور الرؤية الذرية في إطار العلوم الطبيعية الحديثة حصل على يد جون دالتون ومن عاصره من الكيميائيين والفيزيائيين. فقد جرت دراسة الصفات الكيميائية والفيزيائية للمادة في العصر الحديث بعد معالجة الغازات والتفاعلات الكيميائية تجريبياً، وعرف الكيميائيون أن الغازات تتفاعل مع بعضها وفقاً لنسب معينة. لكن هذه الأعمال لم تكن إلا امتداداً لأعمال من سبقوهم، ولم تكن مساهمات العرب والمسلمين في العلوم الطبيعية بالأمر اليسير أو الهامشي بل كانت تأسيساً للعلم الحديث، سواء كان ذلك في النواحي النظرية أو النواحي العملية والتطبيقية. إذ لا يخفى على الباحث المتمحص دور المسلمين في إعتماد التجريب سبيلاً إلى الكشف والتحقيق. وهذا ما دأبوا عليه في علوم الكيمياء بخاصة وإن كانت غاياتهم في جانب منها نفعية تسير وراء حلم ميتافيزيقي بتحويل المعادن الخسيسة إلى نفيسة.

وكان من نتائج دراسات التفاعلات الكيميائية في العصر الحديث أن وجد الكيميائيون، وبالإستعامة بالنظرية الحركية للغازات التي شهدت تطورا كبيرا خلال القرن التاسع عشر، أن قُطر الذرة هو بحدود 10^{-8} سنتيمتر. ولكن اكتشاف الألكترون من خلال دراسة ما سمي أشعة المهبط نهاية القرن التاسع عشر على يد ثمسون (1856-1940م) استدعى القول أن الذرة تحتوي على جزء موجب وحبيبات سالبة هي الألكترونات. وعلى هذا الأساس وضع ثمسون نموذجه للذرة على أنها مؤلفة من كتلة موجبة تتغرز فيها الألكترونات كما تتغرز حبيبات الزبيب بالحلوى، وهذا ما نوضحه في الشكل (3). وبموجب هذا التصور يكون قطر الجزء الموجب من الذرة هو نفس القطر المذكور آنفاً.



الشكل (3) النموذج الذري لثمسون

تجربة رذرفورد

بعد بضعة سنوات برزت الحاجة الى فحص التصور الذي قدمه ثمسون للذرة للتأكد من قطرها. فصمم اللورد الإنكليزي أرنست رذرفورد (1871–1937م) بالتعاون مع تلامذته جايجر ومارسدن أول تجربة تشتت للجسيمات الأولية، وذلك بأن أخذوا شريحة رقيقة من الذهب وعرضوها لسيل من جسيمات ألفا التي حصلوا عليها من مصدر الراديوم المشع. ولما كانت الذرات متعادلة فقد كان من المتوقع أن تمر معظم جسيمات ألفا دون تأثر بالذرات تأثراً كبيراً، إلا تلك التي تتصادم تصادما مباشرا معها. لكن نتائج التجربة أظهرت واقعا مختلفا فإن الكثير من جسيمات ألفا التي اخترقت الشريحة عانت انحرافاً محسوساً عن مسارها،

وبعضها الآخر إنحرف بزوايا كبيرة. وهنا برز التساؤل المهم: لماذا حصلت تلك الانحرافات الكبيرة في مسارات الجسيمات؟

بعد تحليل دقيق لنتائج التجربة استنتج رذرفورد وجماعته أن الجزء الموجب من الذرة، والذي سمي لاحقاً النواة Nucleus، يتركز في حيز ضيق جدا لا يكاد يتجاوز قطره $\frac{1}{4000}$ من قطر الذرة.

- ❖ طيب وأين هي الألكترونات التي اكتشفها ثومسون؟
- ❖ لا بد أنها خارج الجزء الموجب لأن الذرة أكبر على ما يبدو من نتائج التجربة هي أكبر كثيرا من هذا الجزء.
- ❖ ولكن كيف للألكترونات أن تبقى هكذا منعزلة لحالها ولا تتحد بالجزء الموجب خاصة ونحن نعلم أن الشحنات المختلفة تتجاذب؟
- ❖ قال رذرفورد: لا بد أنها تدور حول الجزء الموجب كما تدور الكواكب حول الشمس، وبهذا تحفظ توازنها الحركي عند مسافات عن النواة بواسطة القوة المركزية.
- ❖ ولكن نظرية ماكسويل الكهرمغناطيسية تقول أن الشحنات الكهربائية تطلق طاقتها الوضعية عندما تتعرض إلى تسارع، وهذا يعني أن الألكترونات سرعان ما ستسقط على النواة نتيجة لفقدانها طاقة الوضع الكهربائية التي تمتلكها!
- ❖ نعم بالفعل هذا ما ينبغي أن يحصل وبالتالي فإن نموذج رذرفود الكوكبي ليس مقبولاً بحالته هذه.

نيلز بور: البنية الذرية

من جانب آخر كان نيلز بور (1885−1962) الدنماركي يفكر ملياً متأملاً في ايجاد حل لمعضلة رذرفور الذي وجد الذرة مؤلفة من شحنة موجبة تحتل حيزاً صغيراً جداً (10^{-14} متر) من الحيز المحسوب للذرة وهو بحدود (10^{-10} متر) تحيط بها الألكترونات دون أن تقع عليها. وربما يستغرب المرء كيف تورط الإنسان في تقصي الحقائق عند هذا القدر الضئيل من الأحياز المجهرية. لم تكن المسألة سهلة بل كانت تلك معمعة ذات تاريخ طويل. فذلك الحيز الضئيل للذرة دلت عليه حسابات الكيميائيين في رصدهم للتفاعلات الكيميائية للغازات كما قلنا. فهم قد عرفوا الجزيئات وعرفوا الذرات ومن خلال إكتشاف العدد السحري المسمى عدد أفوكادرو الكبير جداً (6×10^{23} جزيء لكل مول) لم يعد مستغرباً الحديث عن أحياز ضئيلة للذرة.

خلال العقد الثاني من القرن العشرين تأمل بور السلاسل الطيفية Spectroscopic Series التي كان إكتشفها فيزيائيون تجريبيون كُثُر من قبل، مثل ليمان و بالمر و باشن و براكت و فوند وغيرهم، فوجدوا أن الأطوال الموجية للإشعاعات المنبعثة λ عند تسخين المواد تتناسب وفق سلاسل عددية غريبة وهي كما يلي:

سلسلة ليمان $$\frac{1}{\lambda}=R\left(1-\frac{1}{n^2}\right),\quad n=2,3,4......$$

سلسلة بالمر $$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right),\quad n=3,4,5........$$

سلسلة باشن $\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right), \quad n=4,5,6.......$

سلسلة براكت $\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right), \quad n=5,6,7........$

حيث أن $R=1.097x10^7$ هو ثابت ريدبرغ.

انكب نيلز بور وتلميذه فيرنر هايزنبرغ على هذه السلاسل يحللها محاولاً الكشف عن هذه الشفرة الغريبة. ولاحظ وجود الأعداد الصحيحة في تراكيب السلاسل الطيفية، فلم يكن لديه بد من إفتراض أن الألكترونات تتخذ مدارات مستقرة تمتنع من الاشعاع عندها وتكون على أبعاد معينة من النواة. هذه المدارات المستقرة هي تلك التي يكون الزخم الزاوي المداري للألكترون فيها مساويا أعدادا صحيحة من ثابت بلانك مقسوماً على 2π.

$$m\text{v}r = n\hbar$$

وبموجب فرضية التكميم هذه ضرب نيلز بور عصفورين بحجر واحدة؛ فمن ناحية تمكن من تقديم تبرير (وإن كان قائماً على فرض) لعدم إشعاع الألكترونات لطاقتها رغم كونها تتحرك متسارعة في تلك المدارات الخاصة حول النواة. ومن ناحية أخرى سرعان ما وجد أن فرضيته تؤدي إلى معرفة أساس السلاسل الطيفية وبالتالي تقدم تفسيراً لها. لكن فرضية بور هذه وبالصيغة الرياضية التي وجدها لوصف أبعاد المدارات عن النواة جعلت الذرة تبدو مؤلفة من مدارات دائرية متباعدة فالمدار الثاني يبعد عن المدار الأول 3 أضعاف مسافة الأول عن النواة والمدار الثالث يبعد عن الثاني 5 أضعاف تلك المسافة وهكذا... وهنا برزت مشكلة

"القفزات الألكترونية" Quantum Jumps إذ أن انتقال الألكترون من مدار إلى آخر يقتضي أن يغيب من موقعه في المدار الأول ويظهر في المدار التالي دون أن يكون له وجود بينهما! والسبب في ذلك أن النظرية لا تسمح بوجود للألكترون ما بين هذه المدارات المتباعدة. وقد شكلت هذه الصورة معضلة أبستمولوجية لدى الفيزيائيين.

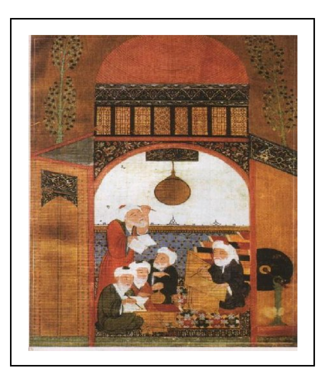


نيلز بور

ولد نيلز بور في الدانمرك عام 1885 وكان أبوه أكاديميا معروفا. ويذكر أن والداه ساعداه كثيرا في حياته التعليمية. درس بور في بداية حياته الجامعية الفلسفة والرياضيات في جامعة بالدانمرك لكنه قرر بعد ذلك التفرغ لدراسة الفيزياء. وحصل على الدكتوراه عام 1911. عمل تحت اشراف ثمسون في كامبردج كمساعد له، ثم رحل الى مانشستر للعمل مع اللورد رذرفورد. وفي العام 1916 حصل نيلز بور على الأستاذية في جامعة كوبنهاجن. في العام 1921 أسس بور معهد الفيزياء النظرية بجامعة كوبنهاجن وأصبح مديرا له. وقد أصبح هذا المعهد في النصف الثاني من العشرينيات والثلاثينيات بؤرة تجمع الفيزيائيين النظريين من شتى أنحاء العالم. دخل نيلز بور في الثلاثينيات في حوارات عميقة مع ألبرت أينشتاين حول لاحتمية ميكانيك الكموم وحاول الاجابة على العديد من الأسئلة العميقة التي أثارها أينشتاين بهذا الخصوص إلا أنه لم يتمكن من إقناعه بأن اللاحتم في ميكانيك الكموم هو مسألة موضوعية تصف واقعا حقيقيا يتصل بطبيعة الظاهرة الكمومية. حصل نيلز بور على جائزة نوبل عام 1922 لجهوده في الكشف عن البنية الذرية للعناصر. توفي نيلز بور عام 1962.

أعادت هذه الفكرة إلى الأذهان ما كان إبراهيم النظّام قال به قبل أكثر من ألف سنة، في أوائل القرن الثالث الهجري، حين أراد تفسير حركة الأجسام والخروج من معضلة زينو مع الابقاء على تصور التجزئة اللانهائية للمسافة، إذ قال بفكرة "الطفرة"، أي أن الجسم أثناء حركته يقفز من موقع إلى آخر دون المرور بجميع أجزاء المكان (اللامتناهية) بين

الموقعين. ومعضلة زينو تقول أن التجزئة اللانهائية للمسافة المحدودة تفضي إلى منع الحركة فإن الجسم وهو يقطع المسافة المحدودة يتوجب عليه أن يقطع نصفها أولاً، ولكي يتمكن من ذلك عليه أن يقطع نصف النصف، وهكذا إلى غير نهاية، مما يعني أن الجسم بالنتيجة لن يقطع شيئاً وهذا يفضي إلى عدم الحركة وهو ما يخالف الواقع. لكن النظّام بفرضه الطفرة حل معضلة زينو.



ابراهيم النظّام

هو إبراهيم بن سيار بن هانئ، أبو إسحاق، المعروف بالنظّام. قيل أنه سمي بالنظام لأنه كن ينظم الخرز ويبيعه. ولد في البصرة بحدود سنة 160 هـ/777م وتوفي في بغداد على الأرجح عام 231هـ/845م. من أئمة المعتزلة أخذ الاعتزال عن خاله أبي الهذيل العلاف شيخ المعتزلة في زمانه. معدود من الأذكياء وذوي النباهة عند المعتزلة. قال الجاحظ (الأوائل يقولون في كل ألف سنة رجل لا نظير له فإن صح ذلك فأبو اسحق من اولئك). وقد عدّه مؤرخ فلسفة نظرية الكموم المعاصر ماكس بيمر سباقاً في التفكير الكمومي إذ قال بالطفرة أي امكانية انتقال الجسم من موضع إلى آخر دون المرور بالأمكنة التي بين الموضعين. وبذلك قدم حلاً لمعضلة زينو اليوناني. وله أراء طريفة في الزمان والمكان والحركة والجزء الذي لا يتجزأ. ومن المعروف أن المتكلمين المسلمين ناقشوا العديد من المسائل الطبيعية على أسس عقلية وقالوا بآراء طريفة ربما تكون ذات قيمة علمية معاصرة. لمزيد من التفصيل أنظر: محمد باسل الطائي، دقيق الكلام: رؤية جديدة لفلسفة الطبيعة عند المتكلمين المسلمين، عالم الكتب الحديث، 2009.

وعلى الرغم من أن العديد من أقران النظّام عابوا عليه هذا القول واستهزؤا به على وقته لكن مؤرخ فلسفة نظرية الكموم المعاصر الألماني ماكس بيمر يعتبر إبراهيم النظام سباقاً في التفكير الكمومي[4] لقوله

[4] M. Jammer, The Philosophy of Quantum Mechanics, p. 259.

بالطفرة.والحق أن قول النظام هذا بحاجة إلى مزيد من البحث والتدقيق بضوء فهم النظّام للزمان والمكان، فإذا كان المكان عنده قبل للتجزئة اللانهائية فهل كان الزمان كذلك؟

حاشية (3) معضلة زينو اليوناني

مسألة الاتصال والانفصال في بنية العالم مسألة قديمة ناقشها اليونان قبل المسلمين. وبينما كان اليونان شبه مجمعين على القول بالاتصال كان المسلمون أكثر ميلاً للقول بالانفصال أستثني من ذلك فلاسفة المسلمين إبن سينا والفارابي وأبو بكر الرازي وإبن رشد وأتباعهم. وكان زينو اليوناني من القلائل الذين عارضوا فكرة الاتصال منطلقا من حقيقة أن مبدأ القسمة اللانهائية للأشياء تعني أن المسافة المحدودة بين نقطتين يمكن أن تقسم إلى ما لانهاية له من الأجزاء. وهكذا فلو أننا تخيلنا أرنباً يلحق سلحفاة تسبقه ببضعة سنتيمترات فإن الأرنب لن يتمكن من اللحاق بالسلحفاة أبدا من الناحية النظرية. ذلك لأنه لكي يلحق بها فعليه أن يقطع المسافة التي تتقدم بها عليه وهذا يقتضي من الأرنب أن يقطع نصف المسافة أولاً ولكي يفعل ذلك فعليه أن يقطع نصف ذلك النصف وهكذا دولليك فإن كانت قسمة المسافة لانهائية صار على الأرنب أن يقطع وحدات لانهائية من المسافة. وهذا أمر مستحيل. بالتالي لن يتمكن الأرنب، من الناحية النظرية، اللحاق بالسلحفاة أبداً. يعني هذا أن القول بالإتصال يمنع من تفسير الحركة تفسيراً منطقياً. سميت هذه الحجة "معضلة زينو".

لقد كان انجاز بور عظيماً إذ تأكدت صحة نموذجه الذري من خلال التجارب التي أجريت في علم الأطياف فتوافقت الحسابات التي قدمتها نظريته الذرية مع النتائج العملية لتجارب علم الأطياف إلى حد كبير، وبدا وكأن مشكلة البنيان الذري للمادة قد اصبحت مفهومة. عزز من هذا كشوف أخرى ربطت بين فرضية بلانك لكموم الطاقة والخطوط الطيفية البراقة والمعتمة التي فسرها بور. وهكذا قُبلت فرضية بور على أنها أمر

واقع ولم يعد الفيزيائيون يعترضون كثيرا على مسألة القفزات الألكترونية إلا بعض المتعنتين من أمثال أينشتاين وشرودنجر.

حاشية (4) أنواع الطيف

عند تسخين المواد الى درجة التوهج تنطلق منها إشعاعات كهرمغناطيسية تحتل نطاقا واسعا من الترددات ونظريا يشمل هذا النطاق الطيف الكهرمغناطيسي كله. وهنلك ثلاثة أنواع من الطيف:

1. **الطيف المستمر** Continuous Spectrum

ويظهر جزؤه البصري كنطاق واسع متصل من الألوان المختلفة تتدرج من الأحمر حتى البنفسجي متصلة ببعضها. ويمكن إنتاج هذا النوع من الأطياف بتسخين المواد الصلبة أو السائلة أوالغازية التي تكون تحت ضغوط وكثافات عالية.

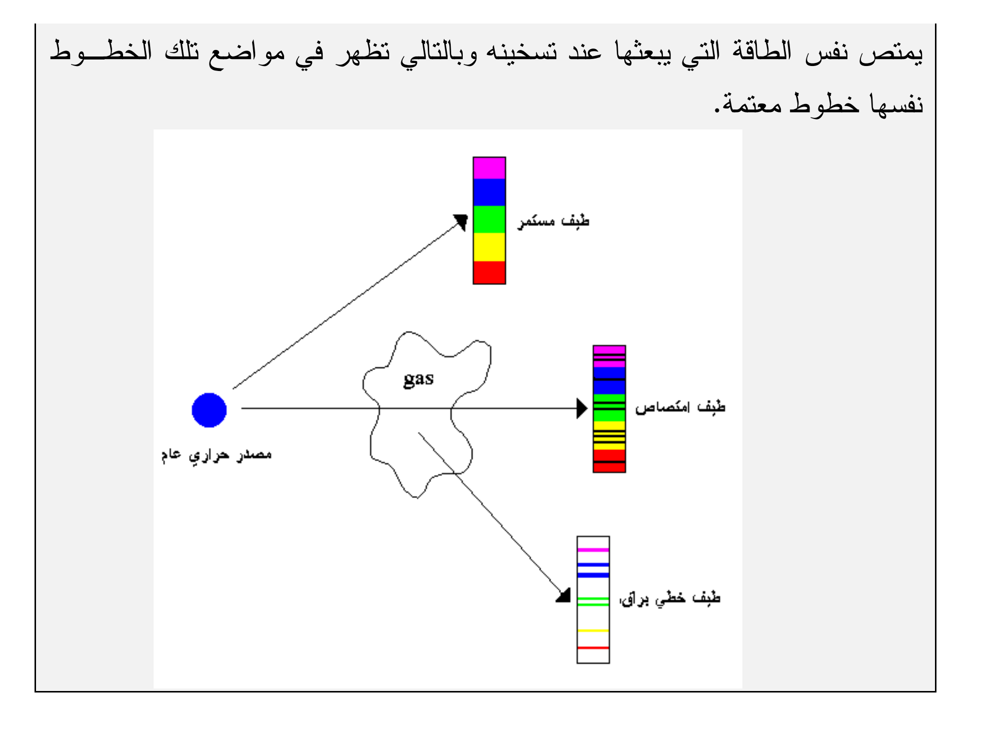
2. **الطيف الخطي البرّاق** Bright-Line Spectrum

ويظهر في الجزء البصري كخطوط براقة ساطعة عند مواقع معينة وعلى خلفية مظلمة تماماً. وينتج هذا النوع من الطيف عند تسخين الغازات تحت ضغط منخفض. ويمكن إنتاجه أيضاً في الأنابيب التي تحتوي على غازات بضغوط منخفضة وتحت فروق جهد كهربائية عالية. إن الطيف الخطي البراق يعكس مكونات الغاز، ولكل غاز طيف معين يمثل "**البصمة** Signature" التي يمكن التعرف بها على وجود الغاز في خليط من الغازات.

3. **الطيف الخطي المعتم** Dark-Line Spectrum

وهو طيف امتصاص يظهر عند مرور الضوء خلال الغازات الباردة عند ضغوط منخفضة. فعند تمرير ضوء الشمس الاعتيادي مثلاً خلال بخار الصوديوم البارد نسبياً يظهر خطان معتمان أحدهما عند $\lambda_1=5896A°$ والآخر عند $\lambda_2=5890A°$. وعند هذه المواقع بالضبط تظهر خطوط صفراء براقة عند حرق ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) على مصباح بنزن. مما يعني أن ملح الطعام يُظهر خطي انبعاث للصوديوم عند حرقه ويُظهر خطي امتصاص في الموقعين نفسيهما عند مرور الضوء الاعتيادي خلال بخاره البارد. والسبب في ذلك أن البخار البارد للعنصر

يمتص نفس الطاقة التي يبعثها عند تسخينه وبالتالي تظهر في مواضع تلك الخطــوط نفسها خطوط معتمة.



دي بروي: الموجة والجسيم

كانت الفيزياء الكلاسيكية قد صاغت تصوراتها للمادة والطاقة عبر مفهومين: الجسيم Particle والموجة Wave. فالجسيم في التصور الكلاسيكي هو الشيء المتحيز والذي له كتلة، وعند حركته يكتسب الجسيم زخماً هو كمية الحركة أو ما نسميه "الزخم". أما الموجة فهي وصف حركي محض تتصف به الطاقة بجميع أنواعها وعلى وجه الخصوص الطاقة الكهرمغناطيسية. إذ تكون الموجة بمثابة نمط حركي يتم من خلاله نقل الطاقة خلال الوسط. فالموجة في المفهوم العام هي إضطراب في وسط. وقد كانت العديد من الظواهر الفيزيائية ساهمت في ترسيخ هذه المفاهيم. إذن فالفرق بين الجسيم والموجة واضح في إطار التصور الكلاسيكي.

إلا أنه توالى إكتشاف ظواهر جديدة خلال العقود الثلاثة الأولى من القرن العشرين، منها التأثير الكهرضوئي Photoelectric Effect الذي فسره أينشتاين مستعينا بفرضية بلانك في تكميم الطاقة وظاهرة كومبتن Compton Effect التي فسرت بموجب فرضية بلانك وعلاقة الطاقة والكتلة التي قدمها أينشتاين في نظرية النسبية الخاصة. هذه الظواهر والاكتشافات كلها جاءت لتؤكد بشكل أو بآخر تداخل التصور الموجي مع التصور الدقائقي في العالم المجهري، وأصبح من العسير الحديث عن الألكترون كجسيم بالمفهوم التقليدي وكأنه كرة صماء متحيزة في موضع محدد. بل على العكس بدا وكأن الألكترونات تتصرف أحياناً كالأمواج تماماً. وهذا ما دفع الفرنسي لويس دي بروي (1892−1987) لدراسة العلاقة بين حركة الجسيمات نفسها وما كان يراه من حركة موجية ملازمة لحركة الجسيم. ومن يراجع رسالة دي بروي التي تقدم بها للحصول على شهادة الدكتوراه عام 1924 يحس أن هذا الرجل أراد في وقت مبكر توحيد نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين مع نظرية تكميم الطاقة لبلانك. ومنهما خرج بتلك الفكرة الجريئة التي تربط بين "الجسيم المتحيز" و "الموجة الممتدة" من خلال العلاقة الشهيرة

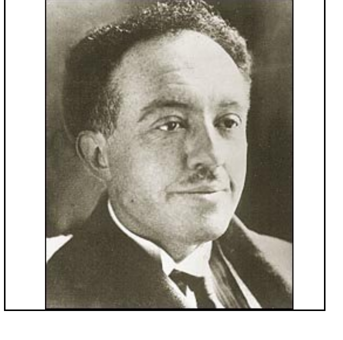
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

حيث أن λ هي الطول الموجي للموجة التي تمثل الجسيم. في هذه العلاقة الجريئة يصبح من المقبول القول بأن جسيماً يمتلك زخماً خطياً مقداره p يتصرف كموجة لها طول موجي يتناسب عكسيا مع مقدار الزخم. وبالتالي صار مفهوماً لماذا يُكمّل عمل نيلز بور في بنية المادة ما كان ماكس بلانك قد إكتشفه في بنية الطاقة. فالمدارات المستقرة التي تحدث

عنها بور هي التي تؤلف محيطاتها دوماً أعداداً صحيحة من الأطوال الموجية للألكترون المتحرك.

$$2\pi r_n = n\lambda$$

وهذا هو الأساس في تكميم الزخم الزاوي للألكترون في ذرة الهيدروجين الذي قال به نيلز بور. وهذا هو السر أيضاً في وجود مدارات أو أماكن ممنوعة على الألكترونات في الذرة. إذ لو أن الألكترون وجد في موضع يؤلف محيط دائرته عنده عدد كسري من أمواج دي بروي فإن موجة الألكترون في مثل هذا المدار ستأكل نفسها بالتداخل الهدام، وينتهي المدار خلال زمن قصير جداً.



لويس دي بروي

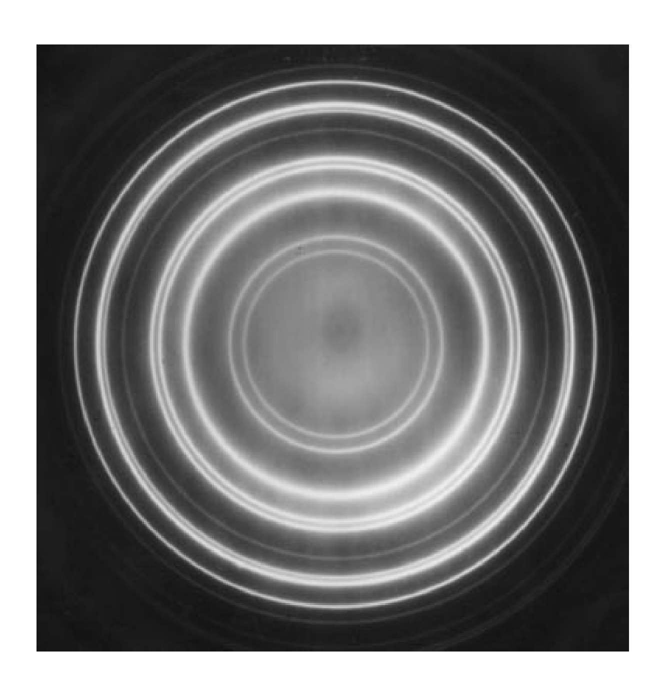
ولد لويس فيكتور دي بروي عام 1892 في ديي بفرنسا، ودرس التاريخ في البداية وحصل على إجازة فيه عام 1910 ولكنه تحول فيما بعد إلى دراسة الفيزياء بدافع من أخيه الفيزيائي موريس فنال الإجازة عام 1913 وقد حصل على درجة الدكتوراه من جامعة باريس 1924 ومنذ ذلك التاريخ وهو يشغل مناصب في السوربون وفي معهد هنري بوانكريه وفي جامعة باريس و حصل على جائزة نوبل عام 1929. كان دي بروي جريئا بالفعل عندما وضع العلاقة بين طول الموجة والزخم وجرأته تتمثل بتعميم تلك العلاقة من الضوء إلى الأجسام العادية وهو لم يكن ليفعل ذلك إلا بعد تحليل ودرس تضمنته رسالته للدكتوراه. ومع ذلك يبقى من الحق أن نقول أن دي بروي كان محظوظاً أيضا إذ أكدت التجارب العملية صحة ما ذهب اليه وبالتالي فإن دوره التاريخي تعلق على لحظة الكشف تلك وتوافقها سريعا مع نتائج التجارب. توفي عام 1987.

عزز فرضية دي بروي كشف جاء عن غير قصد قام به كل من دافيسن وجيرمر في الولايات المتحدة عام 1927 إذ وجد هذان الرجلان

أن الألكترونات المنعكسة عن سطح بلوري معدني تُظهر أنماط تداخل بناء وهدام كما لو كانت حزمة الألكترونات حزمة من الضوء تتداخل مع ذاتها. وتحصل هذه الظاهرة نتيجة تشتيت السطح المعدني الألكترونات الواقعة عليه بصورة منتظمة كما هو الحال عندما يتشتت الضوء عن محزز حيود Diffraction Grating عاكس. وقد عُرفت هذه بتجربة دافيسن وجيرمر Davisson-Germer Experiment. وبذلك تحقق ما كان لويس دي بروي قد اقترحه في رسالته للدكتوراه فنال على انجازه النظري عندئذ جائزة نوبل عام 1929. وقد تأكدت الصفات الموجية للجسيمات من خلال تجارب عديدة جرت على جسيمات أخرى منها النيوترونات. وفي الصورة التالية مثال يوضح أنماط التداخل التي تظهر في حالة جمع حزم متشاكهة من النيوترونات.

حاشية (5) حل النظّام لمعضلة زينو اليوناني

كان إبراهيم النظام واحدا من رواد المذهب المعتزلي في أصول العقيدة. ولكنه كان يعارض المعتزلة في جملة من المسائل أهمها ربما قوله بالقسمة اللانهائية ونفيه الجزء الذي لا يتجزأ الذي كانت المعتزلة تقول به. وقد حاوره عدد من أقرانه في قضية نفيه للجزء وحاجوه بمثل ما جاء في معضلة زينو اليوناني (أنظر الحاشية رقم) في محاولة منهم لنقض قوله بنفي الجزء الذي لا يتجزأ. لكن النظام وجد له مخرجا بالقول هذه المرة أن الحركة لا تحصل مستمرة بل تحصل بالطفر. أي أن الجسم حين يقطع مسافة في المكان فإنه لا يمر بجميع النقاط الواقعة ضمن هذه المسافة إذ أن عدد النقاط لانهائي نظرياً بحسب رؤية النظّام، وإنما يمر ببعضها ويطفر عن الأخرى. وقد دعي قوله هذا بنظرية الطفرة. إلا أن قوله هذا لم يلق استجابة حتى من الذين وافقوه في نفي الجزء مثل ابن حزم الذي لم يرض بفكرة الطفرة بل إعتبره بعضهم متهربا من الإجابة على حجة زينو. لكن واحداً من فلاسفة العلم المعاصرين وهو ماكس ييمر يقول أن نظرية النظام في الطفر هي سبق معرفي لنظرية الكموم المعاصرة.



الشكل (4) صورة لحزم تداخل الجسيمات

3

نظرية الكموم

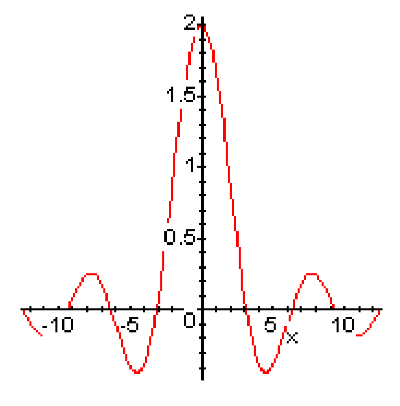
كانت الانجازات التي ذكرناها في الفصل السابق بمثابة تمهيدات لنظرية أشمل وأعم. ففرضية بلانك لتكميم الطاقة وتفسيرات أينشتاين للتأثير الكهرضوئي التي قامت عليها وتوصلات نيلز بور ومشاركيه إلى تكميم الزخم الزاوي ووضع البنية الذرية المبسطة لم تكن إلا إرهاصات علمية على طريق وضع نظرية شاملة تكون بمثابة إطار يشتمل على قواعد وأصول الإجتهاد والعمل في اكتشاف العالم المايكروسكوبي وتفسير تصرفه. وهكذا شهد الربع الثاني من القرن العشرين نشاطاً دائباً لوضع الأسس النظرية لما عُرف فيما بعد بنظرية الكموم Quantum Theory، فاكتشف فيرنر هيزنبرغ ميكانيك المصفوفات Matrix Mechanics ووضع إروين شرودنجر معادلة الحركة للجسيمات بتصورها كرزمة من الأمواج وهذا ما ألف بمجموعه أسس ميكانيك جديد للعالم المجهري دُعي ميكانيك الكموم Quantum Mechanics. هذه النظرية جاءت بمفاهيم غريبة وأصول جديدة.

التحيز والامتداد: الوصف الموجي للجسيمات

أما وقد أصبح للجسيمات صفات موجية فكان لابد من وضع تصور رياضي للتمثيل الموجي للجسيمات. وكما قلنا قبل فإن أهم صفتي الجسم هما: **التحيُّز والثبات**. فيما نجد أن أهم صفتي الموجة هما: **التغيُّر والإمتداد**. وبالتالي فإذا أريد تمثيل الجسيم بموجة فلابد من **تحييز** الموجة على الأقل. وهنا تكمن أهمية عمل دي بروي فهو قد قام في رسالته للدكتوراه بتشخيص ما يسمى بموجة الزمرة Wave Group وموجة الطور Phase وبالتالي أمكن النظر بعد ذلك إلى الجسيم على أنه حركة زمرة موجية تُخفي تحتها عدداً لا نهائياً من الأطوار الموجية. وفي الصياغة الرياضية يمكن تمثيل هذا الكلام بتصوير موجة الزمرة $\psi(x)$ على أنها مجموع جبري خطي لذلك العدد اللانهائي من الأمواج المستوية Plane Waves وكما يلي

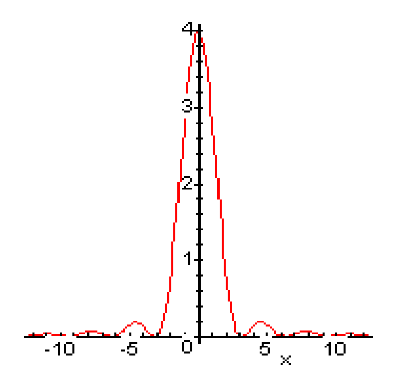
$$\psi(x) = \int \psi(p) e^{ipx/\hbar} dp$$

حيث أن $\psi(p)$ هي دالة الموجة في فضاء الزخم. يجرى التكامل أعلاه على كامل المدى المسموح للمتغير. وهذا ما يعرف بتحويل فورييه الشهير Fourier Transform. والتكامل كما نعلم هو حاصل الجمع اللانهائي للفضلات التفاضلية. ولو أننا رسمنا هذا التمثيل الموجي لدالة ثابتة مثلاً معتبرين أن $\psi(p) = 1$ فإننا نحصل على الشكل التالي



الشكل (5) رزمة موجية هي حصيلة تراكب عدد لانهائي من الأمواج المستوية

ولو أننا رسمنا $|\psi(x)|^2$ بدلاً من $\psi(x)$ فإننا نحصل على الشكل التالي



الشكل (6) يبين التوزيع الاحتمالي للرزمة الموجية القياسية

من الواضح أن تحويل فورييه يوفر "التحييز" المطلوب للموجة وذلك من خلال تحويل مجموعة هائلة من الأمواج الممتدة إلى نبضة متحيزة في المكان وهذا كل ما نحتاجه للتمثيل الموجي للجسيم، حتى يمكن أن يقال عندئذ أن الموجة (النبضة) تمثل جسيماً.

إن خلطاً كبيراً يحصل لدى بعض دارسي الفيزياء حين يتحدثون عن الموجة والجسيم فيتصورون أن الموجة مرافقة للجسيم على حين يرى آخرون أن الموجة تمثل الجسيم وتقوم مقامه. فإما الجسيم وإما الموجة. والحق أنه بهذا التصور الذي قدمناه تصبح كينونة الأشياء هي كينونة جديدة لا هي جسيم بالتصور التقليدي ولا هي موجة بذلك التصور، بل كينونة جديدة من نوع ما تعبر عنها علاقة دي بروي ودالة الموجة لشرودنجر. بمعنى أن الأشياء في العالم المايكروسكوبي لا هي بالموجة ولا هي بالجسيم. وهذا منطقي بالفعل، لأننا حين نتساءل هل أن الألكترون مادة أم موجة؟ فإن قلنا مادة كان علينا بيان أي نوع من المادة هو هل حديد أم نحاس أم خشب؟ وفي الحقيقة لا نتمكن من القول بأي من هذه الأوصاف لأنه أساسا ليس مؤلفا من أي مادة. وحين نقول أنه موجة فإننا ينبغي أن نتذكر صفاته الجسيمية. والصحيح أن نقول إنه لا مادة ولا موجة بل كلاهما معاً. هو في التصور الجديد زمرة موجية تتخذ صفات جسيمية وهذه بالضرورة كينونة جديدة. ويبدو لي أن كثيراً من الأخطاء التي وقع فيها الفيزيائيون النظريون جاءت من خلال استقرار التصور الكلاسيكي في أذهانهم حتى أنهم لم يتمكنوا من مغادرته فاستولى على فكرهم.

هيزنبرغ: ميكانيك المصفوفات

عمل فيرنرهيزنبرغ (1901–1974) خلال دراسته العليا تحت إشراف أرنولد زومرفيلد (1868–1951) ثم استثمر الفيزيائي نيلز بور امكاناته العلمية في دراسة أطياف الذرات، ومنها تمكن من الكشف عن العلاقات

المصفوفية بين الأطياف الذرية المختلفة وتمكن من التوصل إلى تمثيل الانتقالات الألكترونية بصيغ مصفوفية وهذا ما دفعه إلى فهم جديد للعالم الذري، خاصة وقد وجد أن تلك العلاقات المصفوفية تعطي النتائج اللازمة المتفقة مع التجارب إلى حد بعيد. وميكانيك المصفوفات هو بديل لميكانيك شرودنجر الموجي. وهو أرضية أكثر انسجاماً مع النظم المتجزئة والمكممة لأن العناصر المكممة تظهر بوضوح من خلال عناصر المصفوفة. فالطاقات التي تنبعث أو تمتص مع الانتقالات الألكترونية من مستوى الى آخر تظهر كعناصر مصفوفية لاقطرية. فيما تحدد العناصر القطرية لمصفوفة الهاملتوني مقادير طاقات المستويات نفسها. من جانب آخر فإن الوصف المصفوفي لحالة النظم الفيزيائية وللإجراءات الكمومية يضع أمامنا منظومة مصفوفية متكاملة لميكانيك الكموم إجمالاً.

مبدأ عدم التحديد

من جانب آخر فقد أفضت تأملات فيرنر هيزنبرغ إلى أنه لا يمكن تحديد زخم جسيم وموقعه بدقة لامتناهية وفي آن واحد. سمي هذا المنطوق **مبدأ اللايقين أو مبدأ عدم التحديد** Uncertainty Principle وبموجبه يكون هنالك دوماً قدر من اللاتحديد في موقع الجسيم المتحرك Δx وقدر من اللاتحديد في زخمه Δp بحيث يكاد مضروبهما لا يقل كثيراً عن ثابت بلانك. وهذا ما تمت صياغته فيما يسمى علاقات هيزنبرغ في عدم التحديد (أو اللايقين) وهي

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar / 2$$

وفي نفس السياق يقال إنه لا يمكن تحديد طاقة نظام وزمنه في آن واحد وبدقة لا متناهية بل لا بد من قدر من اللاتحديد في هذا وذاك بحيث يكون

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar / 2$$

مثال ذلك لا يمكن تحديد مقدار الفرق في الطاقة بين مستويين من مستويات بور وفترة الانتقال بدقة لا متناهية آنياً. وقد سميت هذه العلاقات وأمثالها علاقات عدم التحديد (اللاتأكد أو اللايقين) لهيزنبرغ Heisenberg Uncertainty Relations.

هذه العلاقات تيسَّر فهمها وقبولها بعد أن طرح دي بروي علاقة الموجة والجسيم. فالموجة لايمكن أن تتحدد بحيز تحديداً دقيقاً بل يكون لها إتساع Width ولابد. وهذا الاتساع مترابط ببعضه من خلال تحويل فورييه آنف الذكر، إذ يكون اتساع المتغير في فضائه مضروبا في إتساع تحويله الفوريي من مرتبة الآحاد Order of Unity. وهذا بالفعل ما تعبر عنه علاقات اللايقين أو عدم التحديد لهيزنبرغ. وبهذا يمكننا القول أن مبدأ عدم التحديد ناتج في الحقيقة عن الوصف الموجي للجسيمات، وإن يكن هذا الأمر ليس حصريا. لذلك وخلافاً لما يتوقعه البعض فإن من غير الممكن الإستغناء عن مبدأ عدم التحديد لأزواج **المتغيرات المتكاملة** Complementary Observables مثل الزخم والموضع والطاقة والزمن وأمثالها. إذ أن هذه المتغيرات هي نظائر بعضها تحت تحويلات فورييه. كما إنه لا يمكن أن نعزو عدم التحديد إلى متغيرات خفية تعمل خلفه كما تدعي نظريات المتغيرات الخفية[5] التي تولى كبرها ديفيد بوم.

[5] J. Belinfante, *A Survey of Hidden Variables Theories*, Pergamon Press, 1975.

خطورة مبدأ عدم التحديد

وضَعَ مبدأ اللايقين الذي اقترحه هيزنبرغ مشكلة كبرى أمام الميكانيك الكلاسيكي بل أمام الفيزياء الكلاسيكية كلها. فإذا كان ليس بالامكان تحديد موقع الجسيم وزخمه بدقة لا متناهية في آن واحد فإن هذا سيحرم الميكانيك الكلاسيكي من أهم شروطه وهو معرفة الموضع الابتدائي x_0 والسرعة الابتدائية v_0 للجسم. لكن معرفة هذين المتغيرين في آن واحد وهو أمر ضروري لحساب مسارات الأجسام في المجالات الجاذبية مثلاً. ومن هذا حساب مسارات الكواكب حول الشمس والأقمار حول كواكبها التابعة لها. فكيف لنا أن تعامل الآن مع هذا الوضع في غياب التحديد الدقيق والآني لهذه المتغيرات المهمة؟ هذا ما زلزل التفكير الكلاسيكي إذ لم يعد الآن ممكنا التيقن من هذا، وبالتالي أصبح التنبوء بمواقع النجوم في مسالكها والكواكب في مداراتها والأقمار في مواضعها على الوجه الدقيق ضربا من الخيال! لذلك انتفض الفيزيائيون التقليديون ضد هذه التصورات في البدء، إلا أن تسارع التطبيقات في العالم الذري جعلهم يتقبلونها مرغمين. على أن النظر الدقيق في هذه المسألة يبين أن التأثير الكمومي لا يظهر في حسابات العالم الجهري الكبير على نحو مؤثر. لذلك فقد أدرك الكلاسيكيون عاجلاً أن التخوف من مبدأ عدم التحديد ليس في موقعه، بل ربما مبالغ فيه من الناحية العملية. فإن التأثيرات الكمومية يمكن اهمالها تماماً عند حساب مواضع الأجرام السماوية لأنها ضئيلة جداً. أما من الناحية النظرية والفلسفية فإن تأثير المبدأ يتمثَل بإقراره اللاحتم أساساً في حوادث العالم. وهذا ما جعل الفيزيائيين يهتمون منذ وقت مبكر بمشكلة القياس في ميكانيك الكموم لأن

هذا له عواقبه الفلسفية بما يتعلق بمفهوم السببية الطبيعية وحتمية اشتغال قوانين الطبيعة ونتائجها.

من جانب آخر فإن مبدأ عدم التحديد قد أجاز وجود جسيمات مجازية Virtual إذ يبيح مبدأ عدم التحديد أن تتوفر طاقة من العدم مقدارها E لزمن قدره t بحيث تكون

$$t < \frac{\hbar}{2E}$$

وفي نظرية المجال الكمومي ونظرية الجسيمات الأولية استخدام واسع لهذه القاعدة، إذ يتيح ذلك تفسير تصرف العديد من الظواهر على النحو الذي يفترض فيه توفر جسيمات مجازية Virtual Particle تتبادلها الجسيمات الحقيقية. وهذا ما يجعل قانون حفظ الطاقة والمادة صحيحاً ولكن فقط ضمن حدود مبدأ عم التحديد وليس بإطلاق.

وبسبب عدم التحديد تكون الطاقة الدنيا لأي نظام محصور (طاقة الخلاء) أكبر من الصفر دوماً. هذا ما نجده في حالة المتذبذب التوافقي وفي حالة جسيم في صندوق ذي جدران صلبة. وهذه الطاقة تنتج عن ما يسمى تذبذبات الخلاء Vacuum Fluctuations. ولهذه التذبذبات تأثيرات مهمة في نظرية المجال الكمومي وعبرها يتم تفسير الكثير من الظواهر.

حاشية (6) كيف يمكن استعارة طاقة بمبدأ عدم التحديد

تفسر بعض ظواهر العالم الذري على أساس أن هنالك قدر من الطاقة ربما يظهر على شكل جسيمات مجازية تظهر لبرهة قصيرة جداً وتقوم بعمل ما قبل أن تختفي سريعاً. ويقال أن هذا الأمر لا يُخِل بمبدأ حفظ الطاقة طالما أن الحدث يحصل ضمن حدود مبدأ عدم التحديد. ولكي نفهم هذه الظاهرة نضرب مثلاً فنقول لو أن أحد

مسؤولي الصندوق Cashier في أحد البنوك أراد أن يستثمر النقود التي في صندوقه فإن بامكانه أن يقوم بذلك خلال فترة زمنية قصيرة فقط. وهو قد يتمكن من ذلك خلال الفترة ما بين تدقيقين لصندوقه. ولنفترض أن تلك الفترة كانت بين الساعة التاسعة صباحا عند فتح الصندوق والثانية بعد الظهر عند غلقه. فهو بالتالي يستطيع أن "يستدين"، ولو بشكل غير قانوني، مبلغا من المال من موجودات الصندوق ويضارب بها في البورصة مثلاً. وهو قد يربح وقد يخسر فهو إذن يؤثر في السوق من حوله دون أن يعلم أحد من أين يأتي بكل تلك الأموال. ومن المنطقي أن صاحبنا سيعمد إلى إعادة المبلغ إلى الصندوق في أقرب فرصة قبل إجراء تدقيق عليه. وبالتالي فمن المؤكد أنه سيعمد إلى تقليص مدة الاقتراض كلما كان المبلغ كبيراً تحاشيا للإنكشاف وتحاشيا لتقلبات السوق السريعة. لذلك تتناسب مدة الاقتراض عكسيا مع كمية المبلغ المقترض. وهذا مماثل لما يحصل في مبدأ عدم التحديد إذ يتم اقتراض كمية من الطاقة من لا مكان (ربما من العدم) ويتم توظيفها في فعل ما ثم تعود الطاقة إلى المحل الذي جاءت منه دون إخلال بقانون حفظ الطاقة. وكلما كانت كمية الطاقة المقترضة أكبر وجب أن تكون مدة القرض أقل. مثل هذه العمليات التي يتم فيها تسخير عدم التحديد لإستعارة الطاقة كثيراً ما يتم اللجوء اليها في نظرية المجال الكمومي لتفسير ظواهر التفاعل بين الجسيمات وتصرف المجالات.

ربما نفهم الآن لماذا يجري تدقيق صناديق الباعة في المؤسسات التجارية مرات متعددة أثناء دوامهم. كل هذا ربما لمنع تشغيل مبدأ عدم التحديد وتحقيق كسب غير مشروع من قبل أمناء الصناديق!

شرودنجر ومعادلة الحركة

مكنَّت العلاقة التي إقترحها لويس دي بروي الفيزيائي النمساوي إروين شرودنجر (1887–1961) من أن يبني تصوره لحركة الجسيم وفق المفاهيم الجديدة فقد تعامل هذا الرجل مع الجسيم ممثلاً بموجة سماها دالة الموجة Wave Function. وافترض لها معادلة حركة موجية تتطابق

والصيغة الكلاسيكية (النيوتنية) للطاقة الحركية للجسيم. فكانت معادلة شرودنجر اللانسبوية الشهيرة. ويمكن الوصول إلى هذه المعادلة من خلال مزج علاقتين: الدالة الموجية المستوية ممثلة بالصيغة

$$\psi(x,t) = Ae^{i(px-Et)/\hbar}$$

والصيغة العامة للطاقة الكلية للنظام العام والذي يسمى الهاملتوني Hamiltonian

$$H = \frac{p^2}{2m} + V = E$$

فلو أننا ضربنا المعادلة الأخيرة من طرفيها بدالة الموجة $\psi(x,t)$ لوجدنا أن بالامكان صياغة معادلة شرودنجر المعتمدة على الزمن

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial\psi}{\partial x^2} + V\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

حيث أن V هو الطاقة الكامنة أو الجهد في النظام. وهذه المعادلة ليست هي إلا معادلة حفظ الطاقة الميكانيكية الكلية وقد تحولت إلى صفة تجريدية حيث هي الآن تمثل معادلة موجية مصاغة على أنها معادلة قيم مخصوصة. وبموجب هذه المعادلة يمكن معالجة النظم الميكانيكية على أساس موجي. ويمكن حل معادلات شرودنجر لهذه النظم بعد تعريف الجهد V كدالة للزمان والمكان، ومن خلال الحل نجد دالة الموجة التي تعتمد صيغتها على النظام الذي تصفه. ودالة الموجة التي ذكرنها أعلاه تمثل جسيما حراً طاقته الكلية هي E وزخمه p.

لكن هل أن دالة الموجة هي كمية فيزيائية؟

الحقيقة أن دالة الموجة هي ليست إلا تعبير رياضي بدلالة الزمان والمكان والزخم والطاقة للنظام، سواء كان النظام جسيما واحدا أو مجموعة جسيمات. ومعادلة شرودنجر هي معادلة الحركة لهذه الدالة. إنما لايمكن القول أن دالة الموجة $\psi(x,t)$ على حالها تمثل كمية فيزيائية ذات معنى، فهي على العموم كمية معقدة Complex، والكميات المعقدة لا تصف واقعا فيزيائيا مباشرا. لكن لها دور كبير في الظواهر الفيزيائية.

كيف يمكننا إذن استخلاص المعلومات الفيزيائية من دالة الموجة؟

هنالك طريقان: الأول مباشر وهو أن نجد قيمة $\psi^*\psi = |\psi|^2$ وهذه الكمية تمثل كثافة الاحتمالية لوجود الجسيم في الموضع x عند زمن t إذا كانت ψ دالة معتمدة على الزمن. وبالتالي يكون التكامل الجاري على هذه الكمية هو الاحتمالية الكلية لإيجاد الجسيم في الموضع x. ولهذا السبب تسمى أمواج دي بروي في بعض الكتب الدراسية أمواج الاحتمالية Probability Waves والحق أن هذه تسمية مجازية؛ ذلك لأن مربع السعة الموجية يتناسب مع إحتمالية إيجاد الجسيم ضمن حيز ما.

والطريق الثاني: هو استخلاص المعلومات نظريا بإيجاد ما يسمى القيمة المتوقعة Expectation Value للمتغير الفيزيائي. وهذه القيمة المتوقعة هي المعدل الذي نجده إذا ما أجرينا عدداً لا نهائياً من القياسات على ذلك المتغير. ولكن من الناحية العملية فليس بالمستطاع إجراء عدد لانهائي من القياسات على متغير ما، لذلك لن نجد القيمة المتوقعة بالضرورة في عملية القياس إنما نجد ما هو قريب منها وحواليها.

لقد كان أهم ما أفضت إليه معادلة شرودنجر هو مفهوم الإجراء[6] Operator، والقيمة المخصوصة[7] Eigenvalue، ذلك لأن معادلة شرودنجر صُممت بالأساس لتكون معادلة للقيمة المخصوصة Eigenvalue Equation. وأهم الإجراءات ذات العلاقة بمعادلة شرودنجر هي

إجراء الزخم الخطي $p = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$

إجراء الطاقة أو الهاملتوني $H = \frac{p^2}{2m} + V = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$

وهذه الإجراءات هي الأكثر أساسية في ميكانيك الكموم. وكان أن تم فهم الكميات الفيزيائية المقاسة في التجارب لتتخذ مدلولاً جديداً يتمثل بكونها قيماً تعبر عن أثر (فعل) تلك الإجراءات في دوال الموجة عند لحظة معينة. فإن الموجة، وهي لا تثبت على حال، لا يمكن أن تعطينا قيمة معينة ومحددة تحديداً دقيقاً وبدقة لا متناهية لجميع المتغيرات التي تحويها. وفي أية عملية قياس يمكن أن نجد قيمة من القيم المسموحة لذلك المتغير وليس قيمته المطلقة الثابتة فالقيمة في الحقيقة لا تثبت على حال. أما القيمة المتوقعة فهي كما قلنا معدل لكل التغيرات الحاصلة لذلك المتغير خلال المدى المكاني أو الزماني لدالة الموجة.

إن اشتغال الإجراء A مثلاً على الدالة $\psi(x,t)$ هو فعل القياس الذي نقوم به لإيجاد قيمة المتغير الفيزيائي a المقابل لذلك الإجراء، هذه التي أُطلقْ عليها مصطلح القيمة المخصوصة Eigenvalue للإجراء A. وإذ تتغير

---

[6] يعربه بعض المؤلفين بكلمة مؤثر. ولا أجد هذا التعريب فصيحاً بما يكفي للتعبير عن المضمون.

[7] يعربها بعض المؤلفين بكلمة (الخاصة) أو (المميزة) وقد استعملت لفظة مخصوصة لكون القيمة المقصودة هي في الواقع مفعولة لإجراء معين أي مخصوص.

القيمة المخصوصة عادة، لأن الموجة الممثلة للجسيم لا تثبت على حال، فإن ما نقيسه حقيقة هو معدل القيم التي تحصل خلال فترة القياس. هذا المعدل قد يكون قريبا بقدر أو بآخر من القيمة النظرية المتوقعة.

مشكلة القياس في ميكانيك الكموم

هذا ما جعل واحدة من أكبر المشكلات الملازمة لميكانيك الكموم تطفو على السطح. تلك هي مشكلة تفسير دالة الموجة ومشكلة القياس ممثلة بما تعنيه عملية القياس وماتنتجه عملية القياس. لذلك ظهرت آراء متعددة بشأن معنى الدالة الموجية ومعنى عملية القياس، وطال الجدل حولها واختلفت الآراء فيها منذ أول العهد في تشكيل نظرية الكموم. وربما تم اعتبار هذه المسألة قضية فلسفية، إلا أن لها دون شك أثراً مهما في مسيرة البحث النظري، حيث أن بقاء تفسير هذه المسألة معلقا يعيق تقدم نظرية الكم ويمنع من تطويرها. وهنالك أربعة تفسيرات رئيسية الآن لمسألة القياس ونتائج القياس في ميكانيك الكموم[8]:

الأول يقول أن ميكانيك الكموم هو بالأساس نظرية تخص التعبير عن مجموعة الجسيمات ولا تصلح للتعبير عن جسيم منفرد. وكان ألبرت أينشتاين[9] من أبرز الفيزيائيين المؤيدين لهذا التفسير والذي ربما كان ماكس بورن أول من أشار إليه[10]. وهذا يعني أن القياس

---

[8] ينبغي الإشارة إلى وجود تفسيرات أخرى هي في الغالب الأعم ذيول وحواشي للتفسيرات الرئيسية.

[9] A. Einstein, “Physics and Reality”, Journal of the Franklin Institute 221, (1936): 349.

[10] M. Born, W. Heisenberg and P. Jordan, 'Zur Quantenmechnik II, Z. Phys. 35, 557 (1926).

في ميكانيك الكموم هو عملية إحصائية يجب تفسيرها وفق السياقت الإحصائية.

الثاني هو تفسير مدرسة كوبنهاجن الذي جاء به نيلز بور وأطَّره نظرياً وأسس له رياضياً الرياضي الهنغاري فون نويمان[11] von Neumann. وهذا التفسير في مضمونه يقول أن حقيقة القياس الكمومي هي ما يحصل في لحظة القياس نفسها. فالقيمة التي نقع عليها لحظة القياس هي القيمة التي تقع عليها قيمة المتغير الذي تحت القياس. وأنا أستعمل هنا كلمة **نقع** ليس بمدلولها اللغوي العربي المتداول بل هي، هنا وفي هذا السياق، المدلول الدقيق المقصود فعلاً لكلمة collapse. وإني لأجد العربية أوفق في التعبير عن المراد؛ إذ يقع المشاهِد Observer على المشهود ويقع المشهود على القيمة (وهذا ما يُعرف بوقوع دالة الموجة wavefunction collapse) فيكون الأمر مفاعلة بين الملاحظ والملحوظ وهذا بالضبط ما يريد أن يقوله تفسير كوبنهاجن لعملية القياس في ميكانيك الكموم.

أما التفسير **الثالث** فهو ذلك الذي جاء به ديفيد بوم David Bohm وهو الذي يقول بأن سبب اللاحتم الظاهر في ميكانيك الكموم وجود متغيرات خفية لم نعلم عنها بعد هي التي تختفي وراءها ظاهرة الاحتمال واللاحتم. وهذا معناه أن نظرية الكموم غير كاملة[12].

---

[11] J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, trans. Robert T. Beyer (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1955).

[12] J. Belinfante, A Survey of Hidden Variables Theories, Pergamon Press, 1973; Measurements and Time Reversal in Objective Quantum Mechanics, Pergamon Press, 1975.

وتقترح النظرية آليات معينة لإيجاد مثل هذه المتغيرات الخفية لكنها لم تخبرنا بجديد، إذ لم تتمكن نظرية النتغيرات الخفية تفسير أي أمر لم تتمكن نظرية الكموم التقليدية تفسيره.

أما التفسير **الرابع** فهو الذي قال به أفريت[13] Everret ويفترض أن القيمة المقاسة عند لحظة ما هي قيمة واحدة من عدد لانهائي من القيم الممكنة لذلك المتغير الذي تحت القياس، وكل من تلك القيم الممكنة قائمة في عالم من العوالم المختلفة المتشابهة التي تخضع لنفس القوانين العامة وإن اختلفت في أقيام موجوداتها. وهذه هي نظرية العوالم المتعددة Multiverse Theory التي جرت مؤخراً محاولات إحيائها من جديد.

لكل من التفاسير الأربعة آنفة الذكر موطناً من مواطن الوهن. فالتفسير الأول توهنه حقيقة أن معادلة الحركة الأكثر أساسية في ميكانيك الكموم هي معادلة شرودنجر تنطبق على جسيم واحد وليس من ضرورة لتقييد تطبيقها بعدد كبير من الجسيمات. نعم ربما سيقول البعض أن دالة الموجة التي تضمها معادلة شرودنجر تبقى غامضة في التعبير عن المضمون الاحتمالي في هذه الحالة إذ نتكلم عن احتمالية قيم كثيرة لمتغير واحد ولجسيم واحد. لكن هذا الأمر فسره ماكس بورن بأن دالة الموجة هي مقياس لإحتمالية وجود الجسيم على تلك القيمة.

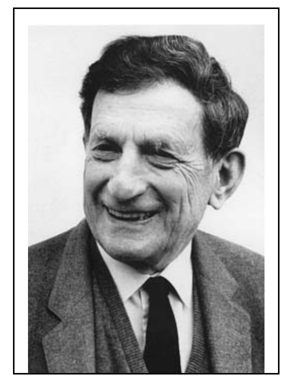
أما تفسير مدرسة كوبنهاجن وعلى الرغم من رصانته الرياضية فإنه يبقى من غير المفهوم ما يعنيه أن يقع المشاهد على المشهود ويقع

---

[13] H. Everett III, Relative State Formulation of Quantum Mechanics, Rev. Mod. Phys. 29, (1957): 454.

المشهود على القيمة. إذ أن هذا يفضي إلى أمور شنيعة منها أن قيم المشهودات تعتمد على المشاهد وحالة المشاهد وهو أمر مناقض للحس والعقل. وهذا ما ذهب إليه جون ويلر[14] عندما تكلّم عن دورنا نحن المشاهدين في خلق العالم في الوقت الذي نعلم فيه أن العالم قد خُلق قبلنا بكثير. وقد حاول البعض النفخ في مثل هذه التفاسير الغريبة والترويج لها إعلامياً في السنين الأخيرة، لكن هذه الاستنتاجات التي ذهب اليها ويلر وغيره إن هي إلا من جملة الشناعات التي يفضي اليها تفسير مدرسة كوبنهاجن.

أما تفسير ديفيد بوم الذي عرف باسم نظرية المتغيرات الخفية Hidden Variables Theory فقد ثبتت عدم جدواه من الناحية النظرية إذ تمكن جون بيل في العام 1964 من إثبات عدم صحة تلك التفسيرات على الأقل جزئياً[15]. وفي كل الاحوال فإن نظرية بوم لم تقدم شيئاً جديداً.



ديفيد بوم David Bohm

ولد في بنسلفانيا عام 1917 لأبوين مهاجرين من هنكاريا. ودرس في جامعتها وتخرج عام 1939. ثم ذهب الى معهد كاليفورنيا التكنولوجي وبعد عام انتقل للعمل مع أوبنهايمر في جامعة كاليفورنيا/بيركلي حيث حصل على الدكتوراه هنالك عام 1943. إنشغل ديفيد بوم في شطر من حياته بالعمل السياسي فقد كان شيوعياً. وقد كان للسياسة أثر سلبي على حياته فقد منع من العمل في مشروع مانتهانتن النووي (وهذا أمر حسن) على الرغم من ترشيحه من قبل أوبنهايمر. ولاقى بعد ذلك صعوبات في تحصيل شهادة الدكتوراه إذ صنف

---

[14] J.A. Wheeler, Assessment of Everett's 'relative state' formulation of quantum theory, Rev. Mod. Phys. 29, (1957): 463.

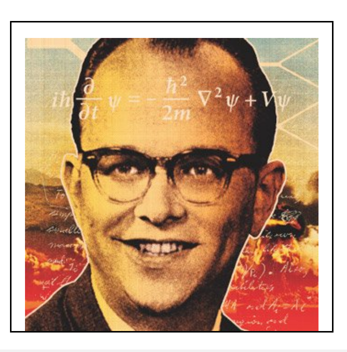
[15] J.S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cmbridge University Press, NewYork: 1988.

بحثه سريا ولم يسمح له بمناقشة الرسالة. لكن الجامعة اكتفت بشهادة أوبنهايمر أنه أنجز العمل. تم إعتقاله عام 1951 لإمتناعه عن الاجابة عن أسئلة المحققين وقامت جامعة برنستون بفصله، فسافر الى البرازيل ورأس قسم الفيزياء بجامعة ساوباولو. وفي العام 1955 سافر للعمل في معهد التخنيون بحيفا، لكنه هجرها الى بريطانيا عام 1957. فعمل بجامعة برستول ومن ثم في جامعة لندن. ومن الجدير بالذكر أن ديفيد بوم رجل مواقف محترم ولولا ذلك لكان حصل على جائزة نوبل بجدارة. إهتم بوم بدراسة ميكانيك الكم وحاول تقديم تفسير جديد يقوم على فكرة المتغيرات الخفية. كما كانت له آراء فلسفية فضلا عن مساهماته العلمية. توفي ديفيد بوم في لندن عام 1992.

أما إقتراح أفريت للعوالم المتعددة، فلا يقل إعضالاً وغرابةً، بل وتناقضاً، عن اقتراح وقوع دالة الموجة آنف الذكر. علماً أن العوالم المتعددة المحكي عنها لا يمكن أن تكون موجودة بالفعل، بل هي موجودة على سبيل الإمكان (أي بالقوة كما كان القدماء يقولون) وذلك لأن تلك العوالم ممثلةٌ بفضاءات مختلفة، وفي كل الأحوال فإن الدوال المحكي عنها الممثلة للقيم المختلفة لابد أن تكون متعامدة Orthogonal، وهذه لا يمكن أن توجد متزامنة كما هو معروف. أو أن تلك العوالم لا يمكن أن تكون حقيقية. فضلاً عن هذا فليس من سبب واضح لأن نتنقل في وجودنا بين هذه العوالم. ومن الجدير بالذكر أن هذا التفسير نفسه أعني تفسير العوالم المتعددة قد تم تشجيعه مؤخرا خاصة من قبل فيزيائيي الجسيمات الأولية وفي مقدمتهم ستيفن واينبرغ بغرض الرد على مبدأ التسخير Anthropic Principle والبنيان أو التناغم الدقيق للعالم Fine Tunning الذي فاجأهم عقائدياً في البداية فأنكروه في البدء، ثم عادوا وقبلوه ليقولوا بتفسيره من خلال نظرية العوالم المتعددة. ففي الوقت الذي كان واينبرغ ينكر القول بالتنغيم الدقيق وبمبدأ التسخير صار بعد ذلك يؤيده مدعيا أن كوننا الذي نعيش فيه هو واحد من مليارات الأكوان التي ربما تكون موجودة ولكن

بلا حياة. لذلك وبحسب تفسيرهم فليس غريبا أن تحصل في هذا الكون حياة إذ لابد منها على الوجه الذي هي عليه عشوائية الخلق بعموميته. وهذا كلام مردود ترده حقيقة أن الأكوان المتخيلة لا يصح وجودها الحقيقي، كما ذكرنا، مع وجود كوننا لتعامد دوال أمواجها مع بعضها.

هيو أفريت



ولد في واشنطن عام 1930. درس الهندسة الكيمياوية أولاً. ثم حصل على منحة لدراسة الرياضيات في برنستون فالتحق بها، لكنه غير اهتمامه الى الفيزياء عام 1953. ثم بدأ العمل تحت اشراف جون ويلر في رسالة الدكتوراه التي عالجت مسائل أساسية في ميكانيك الكموم. وأنجزها عام 1957. وكانت حول الدوال الكمومية النسبية. هذه النظرية التي انبعثت مؤخرا تحت اسم (نظرية العوالم المتعددة). ثم انتقل للعمل في وزارة الدفاع الأمريكية في بعض المشاريع السرية الخاصة. وخلال فترة من حياته قام بتطوير برامجيات حسابية ساعدته في العمل في البورصة وجنى منها ثروة كبيرة. بناء على نصيحة من أستاذه ويلر زار أفريت نيلز بور في معهده في كوبنهاجن. لكن الزيارة كانت فشلاً ذريعا إذ لم يتمكن من التفاهم لا مع بور ولا مع العاملين معه. وقد وصفه مساعد بور، ليون روزنفيلد، بأنه غبي لا يفهم أبسط أساسيات ميكانيك الكموم. توفي عام 1982 إثر نوبة قلبية، ربما عجّل بها إدمانه التدخين بشراهة وشرب الخمر. مما لا شك فيه أن هذا الانسان كان يتمتع بعبقرية غريبة قريبة من الجنون. أوصى أن يتم رمي رماده في المزبلة بعد موته. لكن زوجته احتفظت بالرماد لبعض الوقت ثم رمته مع النفايات.

على هذا يمكن القول أنه وعلى الرغم من تمسك أكثر الفيزيائيين بتفسير مدرسة كوبنهاجن إلا أن جميع هذه التفاسير غير مقنع. وأحسب أن هنالك فرصة لتقديم تفسير آخر لعملية القياس في ميكانيك الكموم ربما

سيظهر في قابل الأعوام[16]. إذ يبدو أن فكرة تجدد الخلق تحتوي مضامين ذات أهمية كبيرة.

حاشية (7) كيف نفهم تدخل المشاهد في النتيجة

ربما يصعب فهم الادعاء بتدخل المشاهد بالنتيجة أو (القائس بالمَقيس) الذي يدعيه مؤيدو تفسير مدرسة كوبنهاجن. ولكن مثالاً يحضرني هنا ربما يقرب الصورة إلينا ويسهل علينا الفهم. فلو أنك كنت تمر يوميا عبر بوابة يقف عندها حارس وكنت تقوم بالسلام على الحارس كلما مررت لكن الحارس يرد السلام أحيانا ولا يرده أحياناً أخرى. ثم حصل أن جئت يوما وهممت بالسلام لكنك تساءلت: هل سيرد علي الحارس السلام أم تراه لن يرد؟ وهنا ستعرف أنك لن تتأكد من النتيجة إلا بعد أن تقوم بالسلام فعلاً. أما قبل ذلك فلديك تخمينين أحدها يقول سيرد والآخر يقول لن يرد. يعني هذا ما لم تقم أنت بالسلام أولاً فلن تعرف الجواب حقاً. وبالتالي فلابد لك من الشروع بالسلام لأنك لو لم تفعل فإن الحارس لن يرد بالتأكيد. طيب: هذا يعني أنك تشارك في صنع النتيجة. وهكذا يكون المشاهد الذي هو أنت مشاركاً في صنع النتيجة. لاحظ أن هذا يقتضي أن تكون للحارس حرية اختيار رد الفعل بالرد على سلامك أو عدم الرد. لذلك يقال أن تفسير كوبنهاجن يعطي قدراً من الحرية للعالم الطبيعي. وربما كان هذا صحيحاً لو أن العالم الطبيعي كان يعمل ذاتياً دون قيوم عليه. على أية حال فإن الأعتراض على تفسير كوبنهاجن، ضمن سياق المسألة نفسها، يتجلى عندما يمر أكثر من شخص في آن واحد كلهم يقوم بالسلام على الحارس وربما رد الحارس وكلهم سمع الرد فأي منهم شارك في صنع النتيجة؟ هنا تبرز المشكلة. وهنا لا نجد جواباً في أروقة مدرسة كوبنهاجن.

---

[16] أنظر البحث التالي في أرشيف جامعة كورنيل الأمريكية
M.B. Altaie, Re-Creation: A Possible interpretation of Quantum Indeterminism, arxive 0907.3419, July (2009)

بين ميكانيك شرودنجر وميكانيك هيزنبرغ

يقول الفيزيائيون النظريون أن الميكانيك الموجي الذي جاء به إروين شرودنجر مكافئ لميكانيك المصفوفات الذي جاء به هيزنبرغ. ويبدو هذا القول صحيحا من الناحية الحسابية أي أن النتائج التي نحصل عليها من حساب ميكانيك المصفوفات مساوية لتلك التي نحصل عليها من ميكانيك شرودنجر الموجي. إلا أن هنالك دون شك فرق بين مفاهيم كلا النظامين وخصوصا فيما يتعلق بالاتصال والانفصال، وبالتالي ما يتعلق بالتجزئة Discreteness وتكميم الكميات الفيزيائية إذ أن من المعروف أن التكميم في إطار الميكانيك الموجي هو ناتج عرضي لعمليات التداخل الموجي ومبدأ تراكب الأمواج Superposition Principle المتصلة المستمرة، على حين إن التكميم في ميكانيك المصفوفات يبدو مولوداً مع البنية الأساسية للتركيب المصفوفي وللتصور التجزئي الذي تتصف به عناصر المصفوفة.

ومن الجدير بالذكر أن إروين شرودنجر لم يكن ليقبل بلاحتمية ميكانيك الكموم أبداً، ويروي عنه هايزنبرغ إنه قال ذات مرة: "**إذا ثبت وأن بقيت هذه الفكرة العجفاء المسماة القفزات الكمومية** Quantum Jumps **فإنني سأشعر بالندم لأنني عملت يوماً في ميكانيك الكموم**"[17]. بهذا القدر كان شرودنجر مستاءً مما أفضى إليه ميكانيك الكموم من اللاتحديد واللاحتم.

[17] M. Jammer, The Philosophy of Quantum Mechanics, p. 57.

هذه الإكتشافات والمفاهيم كلها وفرت صورة جديدة للعالم المايكروسكوبي بمقتضاها يفقد مفهوم الجسيم مدلوله التقليدي في العالم الذري وتفقد الموجة أيضاً صورتها التقليدية في ذلك العالم لصالح مفهوم جديد تتداخل فيه صفات الموجة والجسيم معاً. وكأن مكونات العالم الذري هي كينونات جديدة لا هذا ولا ذاك. بهذا المنحى صارت المفاهيم الفيزيائية تتخذ مدلولات تجريدية أكثر من أي وقت سبق. وصار الفيزيائيون في كثير من الأحيان غير متفقين على التفسيرات رغم اتفاقهم على الصيغ والمعادلات الرياضية. وقد سميت النظرية التي تتعامل مع العالم المايكروسكوبي وفق هذه الأسس "نظرية الكموم" Quantum Theory وسمي الميكانيك الذي تستخدمه "ميكانيك الكموم" Quantum Mechanics.

قطة شرودنجر

تعبِّر هذه المعضلة عن مشكلة القياس في ميكانيك الكموم خير تعبير. وتقول الفكرة أننا لو حبسنا قطة في صندوق يحتوي على قنينة زجاجية تحوي غازاً ساماً وكانت هنالك مطرقة فوق القنينة يسيطر عليها جهاز كهربائي يتحفز بكاشف جسيمات ألفا، ولنفترض وجود مصدر مشع لجسيمات ألفا فإذا خرجت منه الجسيمات التقطها الكاشف وتسببت على الفور بتحرير المطرقة وكسر القنينة وخروج الغاز ماتت القطة التي في الصندوق. وإذا لم تخرج تلك الجسيمات عاشت القطة. فإذا علمنا أن المصدر المشع خلال فترة زمنية ما يمكن أن يُصدر جسيمات ألفا باحتمالية مقدارها 36% وأن لا يصدرها باحتمالية 64% فماذا نتوقع أن يكون حال القطة داخل الصندوق عندئذ؟ والجواب بحسب ميكانيك الكموم هو إنه طالما كان الصندوق مغلقاً فإن حالة القطة هي



36% ميتة و64% حية. على هذا وبموجب قواعد ميكانيك الكموم تمثل حالة القطة قبل فتح الصندوق بالمعادلة التالية

$$\psi_{cat} = 0.8\psi_{live} + 0.6\psi_{dead}$$

وهنا تثار الأسئلة المهمة التالية:

السؤال الأول: ما معنى أن تكون حالة القطة الفعلية مزيجا من الموت والحياة؟ فالقطة إما حية أو ميتة؟

الشكل (7) قطة شرودنجر

والجواب ضمن إطار صياغات ميكانيك الكموم أن هذه الحالة الممتزجة هي تمثيل رياضي لما يمكن أن يكون عليه النظام قبل إجراء عملية القياس أي قبل فتح الصندوق. بالتالي فإن مؤيدي تفسير كوبنهاجن يقولون إن حالة القطة في الصندوق قبل فتحه مجهولة على وجه التحقيق ومعلومة على وجه تخميني فقط وهذا الوجه التخميني هو الذي تمثله المعادلة أعلاه من حالة ممتزجة ربما هي غير واقعية لأنها غير واقعة بالفعل. وهي لا تقع بالفعل ما لم نقم بعملية القياس أي مشاهدة القطة بالفعل.

والسؤال الثاني هو: كيف تتحول حالة القطة من 36% ميتة أو 64% حية إلى 100% ميتة أو 100% حية حالما نفتح الصندوق لمشاهدتها؟ ما الذي جرى؟

يجيب مؤيدو تفسير مدرسة كوبنهاجن أن دالة الموجة للقطة وقعت على حالة من الحالتين الممكنتين لحظة فتح الصندوق. ويبررون ذلك بأن للمشاهد دوراً في تحديد حالة القطة من الموت والحياة. وطبعا هذا أمر غريب. من هذا المنطلق ذهب جون ويلر إلى القول بأن الإنسان يشارك في خلق الكون حينما ينظر إلى أعماقه بالتلسكوبات ليشاهد ما كان عليه في مراحله الأولى! طبعا هذا كلام لا يمكن قبوله هكذا على علاته.

لكننا من منظور آخر يمكن أن نسأل مؤيدي مدرسة كوبنهاجن لنقول أليس من الحق أن نقول وبموجب التحليل الاحتمالي نفسه، بأن حالة القطة وهي داخل الصندوق ليست مرهونة فقط بالمزيج البسيط من احتمالية انطلاق جسيمات ألفا أو عدم انطلاقها، بل هي في الواقع مزيج من عدد كبير من الاحتماليات كتحسس الكاشف للجسيمات ونقل الأسلاك للتيار الكهربائي واشتغال آلية المطرقة واحتمالية كسر الزجاجة اثر سقوط المطرقة أو عدم كسره وغير ذلك من الاحتماليات؟.. وهكذا فهنالك احتماليات كثيرة متداخلة في الواقع الذي تكون عليه القطة داخل الصندوق وهذا ما يجعل التحليل السابق مبسطاً. لكن في كل الأحوال وبحسب قواعد ميكانيك الكموم ومفاهيمه الحالية تبقى حالة القطة وهي داخل الصندوق قبل فتحه مجهولة على وجه التحقيق ومعلومة على وجه نظري تخميني لاعلاقة له بالواقع بالضرورة.



اروين شرودنجر

ولد في العام 1887 في فينا بالنمسا. درس في الأكاديمية النمساوية وحصل عمله في برسلاو (في بولندة حاليا) عام 1920. وفي العام 1921 انتقل الى زيوريخ. وفي العام 1926 نشر أبحاثه الأربعة التي أسست لمادلة الحركة في ميكانيك الكموم. والتي سميت لاحقا بإسمه. وهكذا تمكن شرودنجر من حل المسائل الرئيسية في ميكانيك الكموم متعاملا معها كمعادلات للقيم المخصوصة. وفي العام 1927 صار خلفا لماكس بلانك في معهد فريدريك فلهم ببرلين. وفي العام 1933 غادر ألمانيا الى بريطانيا حيث التحق بجامعة أكسفورد وفي ذلك العام حصل على جائزة نوبل في الفيزياء بالاشتراك مع بول ديراك. كان شرودنجر يعاني من مشكلة اجتماعية إذ عرف عنه علاقاته الخاصة بالنساء وكانت له الى جانب زوجته عشيقات أخريات ربما أنجب من بعضهن أبناءً. وهذه مسألة جعلت وضعه الاجتماعي غير مريح. لذلك آثر النزواء في جامعة كراتز بالنمسا. توفي شرودنجر في العام 1961 في فينّا.

لقد حاول أيوجين فيجنر Eugene Wigner تطوير معضلة قطة شرودنجر مدعياً بأن للوعي البشري دوراً مهماً في استكمال الصورة اللازمة لتفسير معنى وقوع دالة الموجة على حالة معينة، فاستبدل القطة بشخص واعٍ، مستهدفاً إدخال الوعي في العملية وقد سُميت هذه بمعضلة "صديق فيجنر" Wigner's Friend . ويجد كثير من الفيزيائيين النظريين أن إدخال الوعي إلى المسألة قد عقدها وأفضى بها إلى نتائج أكثر غرابة من تلك التي أفضت اليها قطة شرودنجر. ويوجه بول ديفز[18] نقدا مستفيضاً لتصورات فيجنر. فضلاً عن ذلك فإن القول بأن الصراصير والقطط والهوام لا

[18] Paul Davies, *Other Worlds*, Pengiun Books, (1990), p.128-141.

تمتلك وعيا يؤهلها للدخول في مناقشة معضلة القياس في ميكانيك الكموم قول غير صحيح لأن الوعي مفهوم غير مُعرَّف تعريفاً فيزيائياً دقيقاً. بل هو نسبي ولربما كان وعي الإنسان وإدركاته نسبة إلى كائنات متقدمة عقليا كمثل وعي الصراصير والقطط نسبة لنا. إذن أين نقف في الحديث عن وعي متقدم. وهنا يبدو ما يذهب اليه ديفز من أن الحل هو في افتراض وجود كائن علوي لا يخضع لميكانيك الكموم قطعاً، بمعنى ليس جزءً من عالمنا الفيزيائي، أنه هو الشاهد الحق على الوقائع التي تحصل في هذا العالم الذي نحن فيه. والحق أن مثل هذا الشاهد سيكون عندئذ هو المشارك في خلق النتيجة. فهذا هو بكل تأكيد الذي على كل شيء شهيد.



إيوجين فيجنر

ولد في بودابست عام 1902. درس بصحبة فون نويمان في هنغاريا. في عام 1921 درس فيجنر الهندسة الكيمياوية في برلين، وكان يحضر أمسيات الجمعية الفيزيائية الألمانية والندوات التي يعقدها فيها كبار الفيزيائيين الألمان. في نهاية العشرينيات تولع فيجنر بدراسة ميكانيك الكموم، وخلال تلك الفترة كان يعمل مع الرياضياتي ديفيد هلبرت. وفي العام 1927 كانت أول اكتشافاته في توظيف نظرية الزمر في الفيزياء التي أشتهر بها. في العام 1930 انتقل للعمل في برنستون لكن الجامعة استغنت عن خدماته عام 1936 (ربما لميوله الاشتراكية). ثم وجد عملا في جامعة وسكانسن. كان ويجنر من الداعين المتحمسين لمشروع القنبلة الذرية الأمريكي. تزوج فيجنر ثلاث مرات وحصل على جائزة نوبل في الفيزياء عم 1965. توفي عام 1995 في برنستون بنيوجرسي.

هنا إذن تكمن مشكلة القياس في ميكانيك الكموم وهي بالضبط تعبر عن نقص في المفاهيم وليس في شيء آخر. فلقد أثبت ميكانيك الكموم نجاحه خلال ما يقرب الآن من قرن من الزمان ولا مجال للقول بأنه

نظرية خاطئة ولا سبيل إلى انكار اللاحتم في ميكانيك الكموم فهو موجود. أما ما ينبغي فعله وما يمكن فعله بالضرورة فهو ترميم هذه النظرية من أجل أن تتكامل مفاهيمياً وتصبح مقتدرة على تقديم صورة أكثر وضوحا وأكثر معقولية. ولست أعني بعبارة أكثر معقولية أن تقترب النظرية من المنطق الصوري ولكن أعني أن تنسجم مع ذاتها ولا تصبح بعض المداخل فيها مدخلاً إلى نقضها. وهذا جزء مهم من شرط اتساق النظرية العلمية مع ذاتها. إذ من المعروف أن شرط الاتساق Consistency ضروري لعلمية النظرية.

فضلاً عن هذا فإن نظرية الكموم بحاجة إلى ما يحقق بعض مفاهيمها وقواعدها على نحو أكثر وضوحا ومنطقية. وهنا أشير إلى مبدأ الأوالية Correspondence Principle إذ أن من المعروف أن هذا المبدأ أساسي وضروري لتحقق تكامل نظرية الكموم مع النظرية الكلاسيكية. لكننا نرى على نحو واضح أن المبررات الفيزيائية لهذا المبدأ غير واضحة بما يكفي للحديث بثقة عن مجال التطبيق الكمومي ومجال التطبيق الكلاسيكي. والحق إنه لا ينبغي أن توجد مساحة للمجال الكمومي وأخرى للمجال الكلاسيكي. إذ كما هو عليه الحال في نظرية النسبية لا ينبغي أن يكون هنالك فصل في الأنطقة بين النسبوي والكلاسيكي ولا شيء للحديث عن هذا، بل هي مساحة مفتوحة ينطبق فيها بشكل عام التصور النسبوي، إنما النتائج الخارجة للمنظومات في السرع الواطئة أو المجالات الجذبية الضعيفة تكون قريبة جداً وشبه مطابقة لما نجده من النظرية الكلاسيكية (نظرية نيوتن). ونفس الأمر ينبغي أن ينطبق على نظرية الكموم. إلا أننا للأسف نجد أن نظرية الكموم لا تتمتع بمثل هذه الحصافة التي تتمتع بها

نظرية النسبية. والسبب فيما أجد يقع على عاتق المفاهيم. فإن هنالك شيء ما، ربما هو مفهوم أساسي أو أكثر، ناقص في نظرية الكموم ننتظر استكماله.

معضلة أينشتاين بودولسكي روزن

لم يقبل أينشتاين بنتائج نظرية الكموم وبالأخص مبدأ عدم التحديد واللاحتم وبقى مدة طويلة يحاول اثبات أن نظرية الكموم ناقصة أو متناقضة مع نفسها. وقد جرت بينه وبين نيلز بور نقاشات حامية وطويلة خلال النصف الأول من ثلاثينيات القرن الماضي لتفهم نظرية الكموم وما تنطوي عليه. وقد عُرفت هذه المساجلات بحوارات أينشتاين ــ بور[19]. وخلال هذه الحوارات كان أينشتاين يصر على أن "الله لا يلعب النرد" على حين كان نيلز بور يقول له "إنك لا تستطيع أن تملي على الله ما يفعله". وفي العام 1935 نشر أينشتاين بحثاً مشتركاً مع زميله ناثان روزن وتلميذه بودولسكي بينوا فيه أن أزواج الجسيمات البرمية تتمتع بصفة غريبة تجعل منها مترابطة بعضها بالبعض الآخر[20]. فلو أننا أخذنا شعاعاً ضوئيا مثلاً ثم شطرناه نصفين بواسطة لوح نصف شفاف كما في الشكل أدناه، ثم قمنا بتغيير استقطاب أحد الشعاعين فإن استقطاب الشعاع الثاني سيتبدل تلقائياً آنياً. وهذا ما يكشف عن تعلق الفوتون الأول مع

---

[19] للإطلاع على ملخص علمي ودقيق لمواقف الطرفين و آرائهم يمكن مراجعة الفصل الخامس من المصدر التالي:

M. Jammer, The Philosophy of Quantum Mechanics, p.109-158.

[20] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, Can the quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?, Phys. Rev. 47, 777-780, 1935.

الفوتون الثاني تعلقا آنياً. المشكلة في معضلة أينشتاين ـ بودلسكي ـ روزن هي أن هذا التعلق لاسببي؛ إذ يتطلب الأمر أن لا يأخذ تغيير الاستقطاب في الفوتون الثاني وقتا مهما بَعُدت المسافة بين الاثنين بل يحصل آنياً. ولما كان أينشتاين مؤمناً بأن أعلى سرعة في الكون هي سرعة الضوء، لذلك فقد إعتبر مثل هذا التعلق الذي يحصل آنياً حادثاً لاسببياً بالتأكيد. وهو ما يكشف عن تعلق الجسيمات في ميكانيك الكموم ببعضها في ما يسمى **التعلق الكمومي** Quantum Entangelment.

لقد استنهضت هذه المعضلة التي سميت معضلة أينشتاين بودولسكي روزن Einstein-Podolsky-Rosen Paradox العديد من الأفكار وتم بحثها نظريا من جوانب عديدة. أما التحقق منها عملياً فقد جرى في العام 1982 حيث قام الفيزيائي الفرنسي ألين أسبكت (1947−) بتجربة شهيرة لفحص ما تنبأ به ألبرت أينشتاين وجماعته فجاءت النتيجة موافقة لما توقعوه. نعم هنالك ترابط لا سببي بسرعة أعلى كثيراً من سرعة الضوء (أو ربما بسرعة لانهائية) بين الأزواج الكمومية. وهذا ما يثبت تجريباً حقيقة التعلق الكمومي.

ماذا تقول لنا معضلة أينشتاين بودولسكي روزن؟

من الضروري الانتباه إلى حقيقة أن تنبؤ أينشتاين وبودولسكي وروزن بوجود الترابط الكمومي بناء على مبادئ ميكانيك الكموم هو إنجاز يُسجَّل لهم لا عليهم تماماً كما يُسجَّل توقع ابن رشد تحول البنية الهندسية في نظرية المادة والعالم إلى بنية عددية ما إذا كان العالم مؤلفاً

من ذرات له لا عليه[21]. ففي كلا الحالين أثبتت التجربة أن التنبؤ صحيح. لكن ما يُسجَّل على أينشتاين وجماعته، وكذلك ما يسجل على ابن رشد من قبل، هو رفضهم للمبدأ على أساس من المنطق الموروث. ذلك أن أينشتاين وجماعته رفضوا أن يكون التعلق الكمومي واقعا ممكناً وهو خلاف ما أثبتته التجربة. كما أن ابن رشد رفض تحول البنية الهندسية إلى بنية عددية في كل الأحوال، وبالتالي رفض التصور الذري للمادة.

ما نتعلمه من معضلة أينشتاين وجماعته، وبالتالي من التعلق الكمومي، أن أجزاء هذا العالم مترابطة على نحو لم نفهمه بما يكفي بعد، فهنالك الكثير مما ينبغي سبره وتحقيقه في هذه الظاهرة. ومن ذلك تحقق الترابط الكمومي بسرعة أكبر من سرعة الضوء، وهذا يعني انتقال بعض التأثيرات بسرع أكبر من سرعة الضوء. كما نتعلم أيضاً أن هنالك ارتباط بين أجزاء العالم يجعلها متمايزة في تكوين وحدتها المادية، بقدر يجعل من الصعب تجزئة العالم في وجوده إلى كيانات مستقلة منفصلة. بمعنى أنه لا يمكن اختزال العالم على نحو ساذج يجعله مجموعة أجزاء. وهذا ما يُعمّق فهمنا للعالم وترابطاته في الجانب الفلسفي على نحو ربما يمكننا من فهم فلسفة التكوين بعمق اكبر. بل يوسع أفاق فهمنا وينتقل بنا إلى مستوى أعلى من الفهم يجعل أفكارنا المادية المبتسرة السابقة تصوراً ساذجاً ومحدوداً، على حين يقترب الفهم الذي ربما كان تصوراً ميتافيزيقيا قبل من أرض الواقع بصورة أفضل، أكثر موضوعية وعلمية.

---

[21] محمد باسل الطائي، المذهب الذري عند المتكلمين المسلمين، دراسات شرقية 24/23، 2005، باريس.

إن تصورات أينشتاين عن ميكانيك الكموم كانت مرتبطة إلى حد بعيد بفهمه الكلاسيكي للعالم فهو عندما يقول إن الله لا يلعب النرد فهو إنما يرى أن حكم الله للعالم يتم بنظام حتمي صارم وفق الضرروة المنطقية التي يؤمن بها. على حين يمكن للمتأمل أن يرى العكس هو الصحيح؛ فلو كان العالم حتميا ما كانت هنالك ربما ضرورة لهيمنة خارجية، وبالتالي يمكن أن تحكمه القوانين المؤسسة له. لذلك لم يكن غريباً أن يحاول المتدينون الاستفادة من لاحتمية فيزياء الكموم للتدليل على قيومية الله على العالم. وهنالك الآن العديد من الأبحاث والكتب التي تستثمر هذه اللاحتمية لترسيخ هذه الفكرة[22]. من جانب آخر فإن ربط الحكم السببي بسرعة الضوء حصراً قد صار الآن شيئاً من الماضي، وهنالك العديد من الظواهر التي تؤكد أن الكون لا يمكن أن تحكمه سرعة الضوء البطيئة جداً قياساً إلى سعته الهائلة، إذ يستغرق الضوء 28 مليار سنة ليقطع الكون من جهة إلى أخرى. ويتطلع الفيزيائيون الآن إلى فهم أعمق لهذه الحقائق.

إن الترابط الكمومي هو اليوم ظاهرة مهمة ربما أمكن توظيفها في تقنيات جديدة وكل يوم تثبت نظرية الكموم صحتها من خلال التجارب والاكتشافات في عالم الفيزياء الدقيقة. لكن ما تحتاجه نظرية الكموم حقاً هو إعادة صياغة للمفاهيم تضع الأمور في نصابها على الوجه الذي يغطي هذا النقص الواضح في صياغة النظرية وفي تفسيرها. وإعادة

---

[22] C. Lampeter, *Divine Action in the Framework of Scientific Knowledge*, Christianity in the 21 century, 2005; R.J. Russell, N. Murphy and C.J. Isam (editors), "Quantum Cosmology and the Laws of Nature: Scientific Perspectives on Divine Action", the Vatican Observatory Publication and the Centre for Theology and the Natural Science, Berkeley, 1999 .

الصياغة التي أقصده هنا هي التي تجعل البنية الرياضية للنظرية أكثر التصاقاً بالتجزئة والانفصال، ومغادرة الصياغات الاتصالية التي تجعل من حالات التكميم نتاجا عرضياً للتداخل الموجي. المطلوب النظر إلى الانفصال والتكميم كحالة أصيلة وواقع يتم التعبير عنه رياضياً بصورة من الصور بحيث ينعكس هذا التعبير على نحو واضح ليس في البنية الرياضية وحسب بل وفي الأسس المفاهيمية.

ظواهر غريبة في ميكانيك الكموم

جاءت نظرية الكموم بكشوفات جديدة بينت أن العوالم المجهرية تتصرف على نحو غير مألوف. فمثلا وفق الميكانيك الكلاسيكي فإننا إذا رمينا كرت تنس على حائط اسمنتي فإن من المستحيل أن نجد إحدى الكرات تخرق الجدار وتعبره إلى الطرف الآخر. لكن ميكانيك الكموم يقرر أن مثل هذا الحدث وارد ولو باحتمال ضئيل جداً. كما أننا لا نتوقع أن تهرب ليرة ذهبية محصورة في خزنة حديدية محكمة الاغلاق، ذلك لأن الطاقة الحركية التي تمتلكها الليرة مهما كانت فإنها لن تبلغ قوة تماسك جدار الخزنة، وبالتالي لن تتمكن من خرقها. لكن ميكانيك الكموم يقول لنا أن مثل هذا الحدث يمكن أن يحصل لو انتظرنا وقتا طويلاً. مثل هذه الظواهر غير ممكنة كلاسيكيا لكنها ممكنة في ميكانيك الكموم وتسمى ظاهرة التنفيق Tunneling Effect. عملياً لا يمكن لكرة التنس أن تخرق جدار الاسمنت وعملياً لا يمكن لليرة الذهبية أن تهرب من الخزنة المحكمة الاغلاق. لكن عملياً تهرب الألكترونات ذوات الطاقة الواطئة من داخل البلورات ذوات الجدران المتينة. وتهرب جسيمات ألفا ذوات

الطاقات الواطئة من داخل نوى الذرات على الرغم من وجود شد جذبي نووي عليها. إنه ميكانيك الكموم الذي يسمح بتحقق ظاهرة التنفيق عملياً في العوالم المجهرية. ولولا هذه الظاهرة لما أمكن بناء دوائر ألكترونية دقيقة من أشباه الموصلات ولَمَا كان بالإمكان تصنيع أجهزة الاتصال الخلوي الصغيرة التي نحملها في جيوبنا.

ليست ظاهرة التنفيق هي الوحيدة من ظواهر ميكانيك الكموم وتطبيقاته بل إن التشاكه الكمومي Quantum Coherence هو ظاهرة أخرى عجيبة تحصل على المستوى المجهري (المايكروسكوبي) ولها فعل جهري (ماكروسكوبي). ففي هذه الظاهرة يتصرف المجموع كواحد والواحد فيه قوة المجموع. يتمظهر التشاكه الكمومي في ظاهرة الليزر مثلاً حيث يتم تنسيق طاقة عدد كبير جداً من الفوتونات لتكون من نفس المستوى بنفس التردد ونفس الطور، وهذا هو معنى التشاكه. ثم يجري إطلاق هذه الفوتونات دفعة واحدة لتتحل من عقالها طاقة متضخمة ومركزة هائلة تسمى حزمة الليزر Laser Beam. ومن الجدير بالذكر أن المعادلات الأساسية لليزر تم إنجازها في الثلاثينيات من القرن الماضي لكن تحقيقها عمليا وبناء أول ليزر لم يتم إلا في بداية الستينيات. واليوم نعلم أن تطبيقات الليزر لا تحدها حدود فقد دخلت في كثير من العلوم والمهن وتنوعت الاستخدامات بما لا يمكن حصره.

كما يتمظهر التشاكه الكمومي في ظاهرة أخرى تسمى ظاهرة تكاثف بوزــ أينشتاين Bose-Einstein Condensation. وهي التي يجتمع فيها عدد هائل من الجسيمات في المستوي الأدنى من الطاقة للنظام. وعند قدر معين من الطاقة (أو درجة الحرارة) تتصرف هذه الجسيمات جميعاً

كجسيم واحد فتتغير صفات المادة التي تتألف منها تلك الجسيمات تغيراً جوهريا إذ تصبح لزوجتها مثلاً صفراً فيمكن أن يمر طن من المادة المتكثفة خلال خرم إبرة في زمن لايتعدى جزءً ضئيلاً من الثانية الواحدة. هذه الظاهرة تحصل للهليوم المُسال حيث ينقسم السائل إلى وسطين، أحدها متكاثف على هذا النحو، يتمتع بخواص تسمى خواص السوائل الفائقة Superfluids، والثاني هو سائل الهليوم العادي بلزوجته المعهودة.

كما بينت أبحاث جديدة إمكانية أن تكون هذه الظاهرة حصلت في بداية خلق الكون عند درجات حرارية عالية جدا[23] إذ تكاثفت طاقة الخلاء المحدب (طاقة كازيمير) وتحولت إلى جسيمات ذوات كتل كانت، لربما، هي أجداد الجسيمات التي نعرفها، أو هي الهكزات Higgs التي يبحث عنها الفيزيائيون في تجارب المصادم الهادروني الكبير الذي يتوقع أن بدأ العمل مرة ثانية في شهر تشرين أول/أكتوبر من العام 2009 والذي سنأتي على ذكره في فصل قادم من هذا الكتاب.

ومن الجدير بالذكر أن سرعة شعاع الضوء الذي يمر من خلال كثيف بوزــ أينشتاين تكون قليلة جدا لا تتعدى بضعة سنتيمرات في الثانية الواحدة. وقد حصل كل من كورنيل و وايمان وكترلي على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2001 لتحضيرهم كثيف بوزــ آينشتين لعدد من ذرات الروبيديوم. إن الطاقة التي يختزنها كثيف بوزــ أينشتاين طاقة جبارة تفوق بأضعاف كثيرة الطاقة النووية. ومن الجدير بالذكر هنا أن إمرار شعاع ضوئي خلال كثيف بوز أينشتاين قد أظهر سرعة بطيئة

---

[23] M.B. Altaie, J.Phys. A: Math. Gen. **11**, 1603, (1978); M.B. Altaie and E. Malkawi, J. Phys. A: Math. Gen. 33, 7093-7102, (2001).

للضوء خلاله، حتى لا تكاد تلك السرعة تزيد على بضع سنتيمترات في الثانية الواحدة. ولربما ساعدت مثل هذه الظواهر في تحقيق فهم أعمق للمادة والطاقة وبالأخص في حالاتها خلال المراحل المبكرة من خلق الكون.

حاشية (8) حدود التطبيق في ميكانيك الكموم

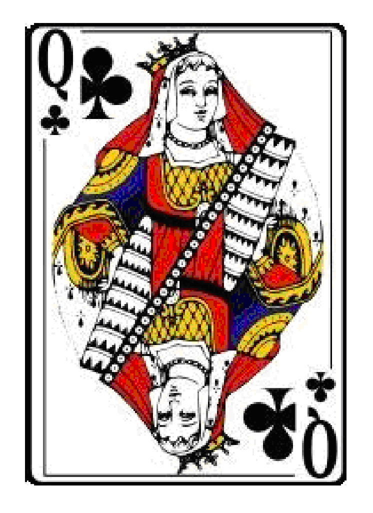
يخطيء البعض حين يظن أن ميكانيك الكموم ينطبق على العوالم المايكروسكوبية فقط، فيما ينطبق الميكانيك الكلاسيكي على العوالم الماكروسكوبية. والصحيح أن ميكانيك الكموم ينطبق على جميع النظم. إنما ما يحصل أن تطبيقاته في العوالم المايكروسكوبية تؤدي إلى النتائج نفسها التي تؤدي اليها تطبيقات الميكانيك الكلاسيكي في تلك العوالم. على حين أن الميكانيك الكلاسيكي يفشل عند تطبيقه في العوالم المجهرية. وبالتالي فإن ميكانيك الكموم هو الأعم وهو الأصح. والميكانيك الكلاسيكي هو الحالة الخاصة من الميكانيك الكموم التي تحصل على نتائجها عندما يكون الفعل الذي يتضمنه النظام (مثلاً الزخوم الزاوية) أكبر كثيرا من ثابت بلانك. عندها يؤول ميكانيك الكموم كحالة تقريبية إلى الميكانيك الكلاسيكي.

ولكن ماذا يحصل لو كنا في عالم خيالي قيمة ثابت بلانك فيه أكبر كثيراً مما هي عليه في عالمنا، لنقل 10^{-4}جول. ثانية بدلاً من 10^{-34}جول. ثانية؟ والجواب أننا سوف نعيش عندئذٍ في عالم كمومي. إذ ستظهر الصفات الموجية للأشياء بوضوح فتبدو الأشياء هلامية ليس بالامكان تعريف حدودها بدقة ووضوح كالذي نتمتع به في عالمنا. وسنرى بعض الأشياء تنتقل من مكان إلى آخر بالطفر كما قال عنها إبراهيم النظّام، بدلاً من أن تتحرك بنعومة وسلاسة. كما سيصعب القبض على الأشياء لأن مواضعها غير واضحة فضلاً عن حدودها. وحتى الأشياء الساكنة لن تكون ساكنة بالضبط بل ستتحرك يمنة ويسرة، إلى أمام والى الخلف، إلى فوق والى تحت. وهذا كله بسبب كونها خاضعة للتذبذبات التي يقررها مبدأ عدم التحديد.

البرم

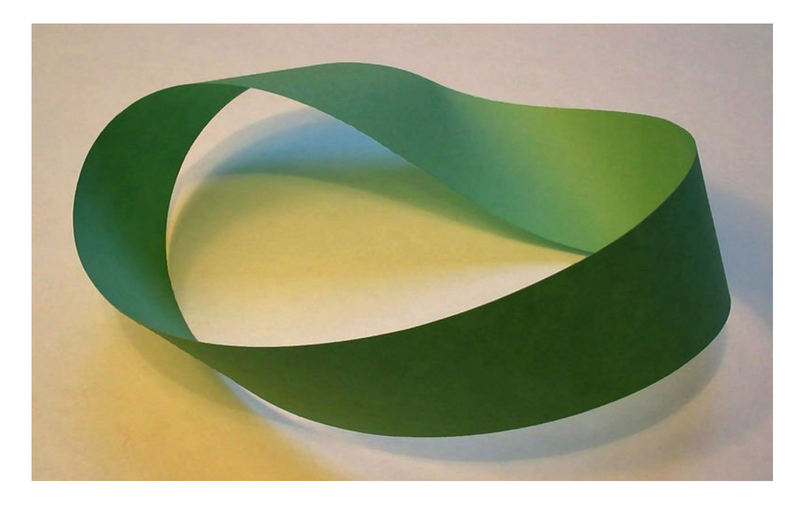
فتح ميكانيك الكموم آفاقاً جديدة في الفيزياء، فساعد في إرساء التصور الذري على أسس ميكانيكية جديدة، وتم حل معادلة شرودنجر لذرة الهيدروجين حلاً يتوافق مع التجارب، وتفهَّم العاملون في فيزياء الأطياف الذرية لماذا تظهر تلك البنية العددية لخطوط الأطياف البراقة والمعتمة، ولماذا تظهر الخطوط الطيفية عند تلك الأطوال الموجية بالضبط. وصار واضحا لدى الفيزيائيين أن نموذج بور الذري هو ليس إلا تصور تقريبي لواقع أكثر تعقيداً فتم التعرف على الزخم الزاوي المداري للألكترون وعُرف السبب في تكرار خطوط طيفية ذات الطول الموجي نفسه فهذه تمثل الآن حالات مختلفة للزخم الزاوي المداري لكنها جميعا لها نفس الطاقة. وسميت هذه الحالات "المستويات الألكترونية المنحلة" Degenerate. فهي على الحقيقة مستويات للزخم الزاوي. وتم تمثيل الزخم الزاوي المداري بالعدد الكمومي l كما تم الكشف من خلال حلول معادلة شرودنجر نفسها عن العزم المغناطيسي للألكترون في الذرة. فالألكترون على أية حال هو شحنة ودوران الشحنة في مدار مغلق يؤدي إلى توليد تيار كهرائي وبالتالي يولد عزم مغناطيسي ثنائي القطب. وهكذا صار من السهل تفهم أطياف الذرات الأكثر تعقيداً إذ يظهر تضاعف لخطوط الطيف ذوات طاقات مختلفة وتنشطر خطوط الطيف تحت تأثير المجال المغناطيسي الخارجي لتكشف عن هذه الطاقات. وهذا ما كان قد كشفه الفيزيائي بيتر زيمان (1865-1943) عام 1897 وتم تفسيره بعد ثلاثين سنة فسميت هذه ظاهرة زيمان Zeeman Effect.

لكن ما لم يتم تفسيره في خطوط زيمان تلك هو انشطار الحالة الدنيا للطاقة في الذرة Ground State إلى خطين. إذ طبقاً لقواعد العلم المعتمد فإن هذه الحالة ينبغي أن تبقى مفردة Singlet دون انشطار حيث يكون العدد الكمومي للزخم الزاوي المداري صفراً. عند هذه النقطة بدأ الفيزيائيون بالتفكير بوجود زخم زاوي ربما ليس مداريا هذه المرة. وتركز التفكير حول وجود زخم زاوي ذاتي للألكترون وهذا ما سمي البرم Spin. وكان النمساوي ولفجانج پاولي (1900–1958) أول من كشف عن ذلك. وقد تصور الناس أول الأمر أن العزم المغناطيسي الذاتي للألكترون ينشأ عن دورانه، وهو شحنة كهربائية، حول نفسه. لكن تبين لاحقا أن هذا التصور الكلاسيكي غير صحيح. وظهر أن البرم يُعبّر في الحقيقة عن تناظر دالة الموجة تحت فعل التدوير. أي أنه صفة من شأنها التعبير عن تناظرات دالة الموجة للألكترون عند تدويرها. لذا فإن الجسيمات التي برمها صفر متناظرة بأي قدر أدرتها، أما الجسيمات ذوات البرم 1 مثل الفوتون، فإن دالة موجتها متناظرة عندما تديرها دورة كاملة أي 360 درجة والجسيمات ذوات البرم 2 مثل الجرافيتون (وهو الجسيم المفترض لقوة التجاذب الثقالي) تكون متناظرة حول نفسها عند تدويرها نصف دورة. ولكي نتصور مثل هذا التماثل نذكر أن ورق اللعب الذي فيه صورة البنت أو الشايب متناظر بدوران زاوية مقدارها 180 درجة فقط كما في الشكل التالي:



الشكل (8) تماثل بتدوير 180 درجة فقط

لكن الجسيمات ذوات البرم ½ لا تعود إلى وضعها الأصلي إلا بعد تدويرها دورتين كاملتين، أي 720 درجة. ولهذا السبب يقال أن برم الألكترون ليس له مكافئ كلاسيكي بل هو صفة كمومية خالصة. ذلك لأنه لا يوجد جسم طبيعي في العالم الماكروسكوبي بمثل هذا التناظر. لكن بالإمكان تشكيل سطح هندسي يتمتع بهذه الصفة وذلك هو حزام موبيص Mobius Belt. إذ أننا نجد أن العودة إلى النقطة التي انطلقنا منها يتطلب الدوران حول حزام موبيص دورتين لا دورة واحدة. ومن الجدير بالذكر أن حزام موبيص يشكل سطحاً واحداً لا سطحين كما قد يبدو للوهلة الأولى. ومن المعروف أن للجسيمات التي برمها ½ حالتين: واحدة تمثل برم إلى الأعلى Spin up والأخرى تمثل برم إلى الأسفل Spin down. ينتج برم الأعلى عن تدوير دالة الموجة باتجاه عكس عقرب الساعة، وينتج برم الأسفل عن تدوير دالة الموجة مع عقرب الساعة. وهذا الاصطلاح متوافق مع ما يسمى قاعدة اليد اليمنى وهي قاعدة عامة في الفيزياء تبين إتجاه العزوم.



الشكل (9) حزام موبيص



ولفجانج پاولي

ولد ولفجانج إرنست پاولي في فيينا عام 1900م وأجرى دراسته العليا باشراف أرنولد زومرفيلد. كانت له مساهمات كبيرة في الفيزياء النظرية أهمها اكتشافه برم الجسيمات وتعبيره عنها بالمصفوفات التي سميت باسمه. واكتشافه مبدأ الاستثناء المسمى باسمه أيضا. عمل في زيورخ وفي معهد برنستون بالولايات المتحدة الأمريكية. لم تكن حياته الشخصية خالية من المتاعب بل مر بفترة من الاضطراب النفسي خضع خلاله للمعالجة وخضعت أحلامه للدرس والتحليل من قبل عالم التحليل النفسي كارل غوستاف يونك. حصل پاولي على مداليات عديدة ثم حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1945 بترشيح من أينشتاين. توفي پاولي في زيورخ عام 1958.

جُلنا كل هذه الجولة لكي نُقرّب للقارئ معنى البرم فهو صفة أساسية من صفات الجسيمات الأولية تلعب دوراً مهماً في تمييزها وفي صفاتها الماكروسكوبية فضلاً عن الصفات المايكروسكوبية. وقد وجد أن الجسيمات الأولية تنقسم إلى نوعين:

- الجسيمات ذوات البرم الذي قدره نصف عدد فردي، مثلاً ½ و 3/2 و 5/2 و هكذا... وتسمى **فيرميونات.** وهذه تكون دوالها الموجية غير متناظرة أو عكسية التناظر Anti-symmetric تحت الدوران دورة كاملة. أي أن دالة الموجة تصبح سالب دالة الموجة بعد التدوير. لذلك تتبع هذه الجسيمات توزيعا إحصائياً يسمى إحصاء فيرمي ــ ديراك Fermi-Dirac Statistics.

- الجسيمات ذوات البرم الذي قدره عدد صحيح، مثلاً 1 و 2 و 3 وهكذا... وتسمى **بوزونات.** وتكون دوالها الموجية متناظرة Symmetric تحت الدوران دورة كاملة. وتتبع هذه الجسيمات توزيعا إحصائياً يسمى إحصاء بوز ــ أينشتاين Bose-Einstein Statistics.

لهذه الأسباب يلعب برم الجسيمات دورا مهما في تقرير صفات وتراكيب المواد إذ تخضع الفيرميونات لمبدأ پاولي في الاستثناء Pauli Exclusion Principle وهذا المبدأ يقرر أن من المستحيل جمع فيرميونين متماثلين تماماً في حالة واحدة. لذلك إذا كانت لدينا حالة تضم فيرميونين ولنقل ألكترونين وكان لأحدهما برم باتجاه ما فإن الجسيم الثاني يجب أن يكون له برم معاكس. وذلك ناتج عن حقيقة أن الدوال الموجية للفيرميونات عكسية التناظر على حين يمكن الجمع بين عدد غير محدد من البوزونات في حالة واحدة لأن دوالها متناظرة. ويلعب مبدأ باولي دوراً مهماً جداً في تقرير بنية المركبات الكيمياوية وترابط العناصر والمركبات بعضها مع البعض الآخر. ويمكن القول أن مبدأ الاستثناء هذا هو الذي يحدد لنا صفات

وخصائص العناصر في الجدول الدوري، وبالتالي فهو الأساس في التكوين الكيميائي للعالم.

إن قوانين نظرية الكموم هي أكثر عمومية من قوانين الميكانيك الكلاسيكي. وقد يتصور البعض أن ميكانيك الكموم ينطبق على العوالم الذرية فقط وهذا غير صحيح أبداً؛ بل إن ميكانيك الكموم ينطبق على جميع أجرام العالم، الكبيرة منها والصغيرة. إنما نجد عند تطبيقه على العوالم الماكروسكوبية أن نتائجه مطابقة تقريباً للنتائج التي نحصل عليها عند استعمال قوانين الميكانيك الكلاسيكي. وهذا ما يسمى **مبدأ الأوالية**[24] Correspondence Principle، إذ أن ميكانيك الكموم يؤول إلى الميكانيك الكلاسيكي عندما يكون مقدار الفعل Action (مضروب الطاقة في الزمن أو الزخم في المسافة) أكبر كثيراً من ثابت بلانك. ولهذا المبدأ وجوه أخرى.

ليس بالإمكان، في تقديري، تجاوز ميكانيك الكموم من حيث المحتوى والمضمون الأساسي إلى حالة أرقى أو نظرية أعم إلا أن تكون نظرية تُكمم الزمان والمكان مثلاً، فهذه خطوة مطلوبة ومهمة لتطوير الفيزياء النظرية المعاصرة. وهذا يطرح أمامنا مسألة توحيد ميكانيك الكموم مع نظرية النسبية. وقد قيل مراراً أن هذا التوحيد غير ممكن في الاطار الحالي لنظريتي الكموم والنسبية لكون الأولى نظرية خطّية في الهيكل الإجرائي والثانية نظرية لا خطية. هذا التعارض الذي ينقلب عند تطبيق نظرية الكموم على المجال الجاذبي إلى كارثة تحيق بالنتائج فلا نستخرج أية نتائج معقولة، إذ تفشل المبادئ الأكثر أساسية في ميكانيك

---

[24] إستخدمت هذا المصطلح لأنه الأقرب إلى المعنى والقصد فهو من آل يؤول.

الكموم (أعني مبدأ تراكب الأمواج) في التعبيرعن المجال الجاذبي اللاخطي[25]. وتفشل طرائق التقريب مثل نظرية التشويش Perturbation Theory عن تقديم الخدمة اللازمة للتعبير عن المجالات الجذبية، إلا إذا كانت تلك المجالات ضعيفة جداً. لكن هذا يتطلب في تقديري خطوة جريئة أولى تتمثل بتكميم الزمن Quantization of Time. وعند هذه المرحلة ستتفتح أمامنا أفاق جديدة تُعبِّد الطريق نحو توحيد ميكانيك الكموم مع النسبية العامة، توحيد الجاذبية مع المجالات المادية. حيث عندئذ يمكن الولوج إلى تكميم الجاذبية من خلال تكميم الزمن فالجاذبية الضعيفة هي بالأساس انحناء للزمن. وربما تقدم نظرية الأوتار الفائقة شيئاً بهذا الصدد. ولكن ليس من السهل تنفيذ هذا المطلب وعلى الطريق توجد محاولات كثيرة ليست موفقة تماماً ساهم فيها كبار الفيزيائيين النظريين المعاصرين[26].

يبدو لي ان هنالك ترابطاً دفينا بين أكثر من موضوع؛ فهنالك الزمكان وعلاقته بالمجال الكهرمغناطيسي هذه العلاقة التي يفصح عنها حقيقة أن سرعة الضوء في الفراغ هذا الثابت الكوني الخطير هو في الحقيقة خاصية للزمكان نفسه. وهذا ما يجعل الضوء يَرْكَب خطوط شبكة الزمكان، كما سنرى لاحقاً، على نحو يجعلنا قادرين على معرفة تحدب الزمكان من خلال متابعة حركة شعاع ضوء. وهنالك البرم الكمومي Spin، هذه الخاصية الزمكانية هي الأخرى ذات العلاقة بتناظرات المكان، والتي لها ترابطات عديدة مشتركة مع الكهرمغناطيسية ومع الجاذبية

---

[25] N.D. Birrell and P.C.W. Davies, *Quantum Fields in Curved Spacetime*, Cambridge University Press, 1982.
[26] G. ‘t Hooft, TransPlanckian Particles and the Quantization of Time, Class. Quant. Grav. 16, 395-405, (1999).

أيضاً، مما يجعلها قابلة أن تلعب دورا مهماً في التقارب بين الجاذبية وميكانيك الكم. وعلى الجانب الآخر تقف صورة الزمكان بشقه الزماني والمكاني تبحث عن تكامل في صورة أكثر تعبيرا عن الحقيقة يتمثل عندها البرم والكهرمغناطيسية والجاذبية تمثلاً في حالة أقرب إلى الحقيقة. وأقول أقرب إلى الحقيقة لأننا لا يمكن أن نعرف أبداً ما الحقيقة. لكننا كلما اكتشفنا أمراً صرنا أقرب إلى الحقيقة.

4

المجالات الكمومية

كانت نظرية الكموم بمحتواها الأساس قد أسست لقواعد العمل في البنية المايكروسكوبية لكنها لم تعالج النظم المتفاعلة Interacting Systems على نطاق واسع. وهذا ما تطلَّب وضع نظرية أعم وأشمل تكون إطاراً واسعاً ومقتدراً لمعالجة النظم المتفاعلة. وبالنظر للنجاح الذي أحرزته نظرية المجال الكلاسيكية وجد النظريون أن النمط المنهجي لتلك النظرية هو الأجدر بالاتباع. ولكي يتمكنوا من تطعيم المجال الكلاسيكي بمصل "الكوانتم" ويصبح مجالاً كمومياً اتخذوا خطوتين: الأولى فتح متغيرات المجال باستخدام مفكوك فورييه، والثانية: إحتساب معاملات المفكوك بمثابة إجراءات خلق وفناء والتعامل معها على هذا الأساس. ومن خلال ذلك وبعد تمحيص العلاقات التبادلية بين تلك الاجراءات يمكن حساب الكميات الفيزيائية المطلوبة لدوال المجال عبر التقنية الأساس ألا وهي حساب القيمة المتوقعة. وهذا ما سمي التكميم الثاني Second Quantization. هكذا تأسست نظرية المجالات الكمومية التي قامت على نسق النظرية الكلاسيكية ولكن بتبديل متغيرات المجال الكلاسيكي باجراءات.

ميكانيك الكموم النسبوي

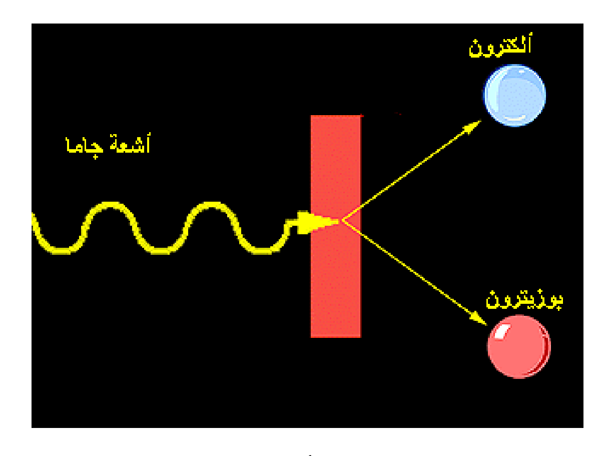
كانت معادلة شرودنجر والميكانيك الذي أسفر عنها لا نسبوية بكل المقاييس لأنها إعتمدت أساساً الصيغة اللانسبوية للطاقة الكلية. وهذا معناه أنها غير قابلة للتطبيق على الجسيمات المتحركة بسرع كبيرة تقرب من سرعة الضوء. لذلك فكّر الفيزيائيون بضرورة تعميم هذا الميكانيك ليتمثل الحالات النسبوية إذ تكون سرعات الجسيمات عالية حيث تظهر التأثيرات النسبوية. وربما كان إروين شرودنجر هو أول من حاول ذلك لكنه لم يقتنع بنتائج عمله ولم ينشرها. لكن أوسكار كلاين (1894–1939) و والتر غوردن (1893–1939) قاما بالفعل بنشر معادلة الحركة الكمومية النسبوية معتمدين على صيغة أينشتاين للطاقة الكلية للجسيم النسبوي الحر

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

هذه المعادلة أعطت كلاين وغوردن معادلة حركة من الدرجة الثانية في المكان والزمان على السواء. وهي معادلة موجية مثالية سميت **معادلة كلاين ــ غوردن**. لكن سرعان ما وجد الفيزيائيون أن هذه المعادلة تفضي إلى كثافة إحتمالية سالبة. وهذا أمر غير معهود في منطق الفيزياء بل شيء غير معقول. وبالتالي تم التغاضي عن معادلة كلاين ــ غوردن لفترة ما، حتى جاء پاولي بتفسير السلب في كثافة الإحتمالية على أنه يمثل تيار شحنة سالبة لمجال قرين معقد Complex Field.

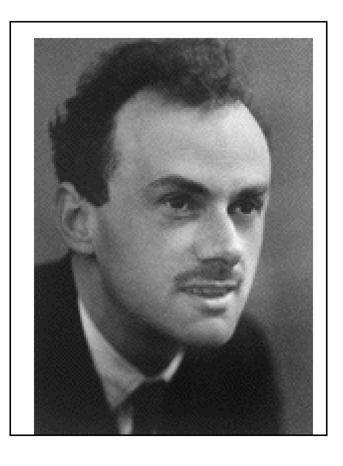
من جانب آخر إعتمد پول ديراك (1902–1984) منحىً آخر في سبيل التوصل إلى معادلة الحركة النسبوية. فوضع أمامه أن تكون معادلة الحركة النسبوية معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى في الزمان والمكان

على السواء لعله يتخلص من مسألة الإحتمالية السالبة هذه. وبالفعل توصل ديراك إلى معادلة جميلة جداً ومختصرة لكنها مكتنزة بالعلم. إذ وجد أن دالة الموجة هي مصفوفة عمودية رباعية ووجد أن المعادلة كلها تمثل في الحقيقة مصفوفة رباعية تُعبّر عن جسيمين متناظرين أحدهما بطاقة سالبة واللآخر بطاقة موجبة، وأحدهما بشحنة موجبة والآخر بشحنة سالبة. بمعنى أن حلول معادلة ديراك تشتمل على أربعة جسيمات. وأزاء ذلك ولكي يفسر ديراك الحالات الممكنة لحلول المعادلة لجأ إلى تصور وجود بحر من الطاقة السالبة (سمي فيما بعد **بحر ديراك** Dirac Sea) يرقد في العدم. وحين ينتقل جسيم من هذا البحر ذي الطاقة السالبة إلى الوجود الحقيقي ويتحول إلى طاقة موجبة فإنه يترك وراءه فجوة في البحر السالب تتمظهر وجوديا كجسيم مماثل للألكترون ولكن بشحنة موجبة. وظن ديراك أول الأمر أن هذا الجسيم إنما هو البروتون لكن آخرين بينوا أن كتلته هي كتلة الألكترون نفسها، مما يعني أن هذا الجسيم هو ضديد الألكترون وسمي **البوزيترون** Positron. وبهذا فتح ديراك عالم الجسيمات المضادة، وتم اكتشاف المادة المضادة Antimatter.



الشكل (10) توليد الألكترون والبوزيترون

لم تكن نظرية ديراك لتحظى باستجابة الفيزيائيين وإعجابهم بالفعل لغرابة التفسيرات التي طرحها ديراك لجسيماته لولا أن كارل أندرسون (1905–1990) إكتشف البوزيترون فعلاً في آثار الأشعة الكونية عام 1932 فكان ذلك الاكتشاف سبباً لمنح پول ديراك جائزة نوبل في الفيزياء عام 1933 وهو في مقتبل الثلاثينات من عمره، فكان من أصغر الفيزيائيين الذين حصلوا على هذه الجائزة.



پول أدريان موريس ديراك

ولد عام 1902 في مدينة برستول في بريطانيا. درس الهندسة الكهربائية في جامعة برستول وحصل على البكالوريوس عام 1921. ثم وجد لديه الرغبة في دراسة الرياضيات فحصل على بكالوريوس في الرياضيات عام 1923. حصل ديراك على منحة من جامعة كمبرج تضمن له البقاء في ممارسة بحثه الذي كان باشراف رالف فولر فحصل على الدكتوراه عام 1926. تمكن ديراك من استنباط معادلة حركة الألكترون وتنبأ بوجود البوزيترون ونشرها عام 1928 ولقد حالفه الحظ إذ اكتشف أندرسون البوزيترون بالفعل في آثار الأشعة الكونية في الأجواء العليا. توقع ديراك وجود القطب المغناطيسي المنفرد وتجري محاولات كثيرة لإكتشافه الآن. حصل ديراك على جائزة نوبل في سن مبكرة عام 1933. واسهم بانجازات عظيمة للفيزياء لعل شطرا منها يكمن في صياغته للبنية الرياضية والترميز الديراكي الذي ساعد في تبسيط الصورة. وفي العام 1939 وضع ديراك نظرية تسمى فرضية الأعداد الكبيرة حاول من خلالها تفسير بعض السمات الأساسية للعالم الفيزيائي وقد كاتبته حول هذه النظرية عام 1975 بينا كان في فلوريدا وكم كان متواضعا إذ أجاب على استفساراتي وأنا لم أزل تلميذا مبتدءً في دراسة الدكتوراه. قضى ديراك السنوات الأخيرة من عمره في فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية حيث توفي ودفن هناك عام 1984.

كان من نتائج نظرية ديراك تفسير توليد زوج الألكترون والبوزيترون عند مرور فوتون ذي طاقة كافية (أشعة جاما) خلال معدن ذي نواة ثقيلة مثل الرصاص. إذ أن طاقة الفوتون تتحول إلى ألكترون وبوزيترون. وهذه هي العملية العكسية لتحول المادة إلى طاقة إذ يتم فيها تحول الطاقة إلى مادة، ما يؤكد علاقة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والكتلة.

نظرية المجال الكمومي

شعر الفيزيائيون مع بداية الثلاثينيات من القرن العشرين أنهم بحاجة إلى نظرية جديدة شاملة تؤطر المجالات المادية الجديدة التي عرفوها بما في ذلك مجال القوى النووية، فصاروا يعملون على استنباط نظرية تُمكّنهم من التعامل مع مجالات القوى على أساس تكميمي ولهذا الغرض ظهرت الحاجة إلى نمط منهجي Paradigm يكون بمثابة نول يقومون بالنسج عليه لتكوين مثل هذه النظرية. إنطلق الفيزيائيون النظريون من النمط المنهجي لنظرية المجال الكلاسيكية Classical Theory of Fields التي تقوم على مبدأ الإتصال وتنتهج نهج التعبير عن المجال بالصياغة اللاغرانجية. لكنهم ولكي يُكمموا المجال قاموا بالتعامل مع المتغيرات الأساسية للمجال على أنها إجراءات (مؤثرات) Operators وليس متغيرات كلاسيكية. كما إنهم ولكي يسبغوا على الصياغة المحتوى الموجي، وهو المطلوب الأساسي والعام، قاموا بالتعامل مع متغيرات المجال الرئيسية بدلالة مفكوك فورييه Fourier Expansion. وأصبح هذا جزءاً أساسياً من المنهجية إذ عن طريق مثل هذا المفكوك يتمكن النظريون من تحصيل التكميم وقد سمي هذا النهج **التكميم الثاني** Second Quantization. وفي

هذا النهج تصير مكونات النظام أمواجاً متداخلة وتداخل الأمواج يفضي بالضرورة إلى التكميم. حيث تمثل مناطق التداخل البنَاء مواطن الإحتمالية الأعظم وتمثل مناطق التداخل الهدّام مواطن الإحتمالية الصغرى. إن منهجية التأسيس على المفكوك وما يسمى **مبدأ التراكب** Principle of Superposition إن هو إلا حيلة يلجأ اليها الفيزيائيون الكموميون لكي يحافظوا على مبدأي الخطيّة Linearity والإتصال بذات الوقت الذي يحصلون فيه على الانفصال كناتج لعملية التكميم الثاني وبالتالي يضمن هذا ظهور تكميم الطاقة والزخم الزاوي وغيرها من المتغيرات. أما بما يخص إشتقاق معادلات الحركة فقد سار الفيزيائيون النظريون على نفس النهج المعتمد في إشتقاق معادلات الحركة في نظرية المجال الكلاسيكية وذلك بإعتماد **حسبان التغاير** Variation للفعل Action الذي هو تكامل كثافة اللاغرانجي والذي هو بالأساس كثافة فضل الطاقة[27]. وبهذا نضمن تحقيق **مبدأ الفعل الأقل** Least Action والذي يبدو أنه المبدأ الأكثر أساسية في تصميم العالم.

نجحت نظرية المجال الكمومي في التعبير عن المجال الكهرمغناطيسي المكمم وتفاعل هذا المجال مع المجالات المادية الأخرى، مثل مجال ديراك النسبوي، بما في ذلك شرح وتفسير عمليات التخليق والفناء Annihilation التي تجري للجسيمات والجسيمات المضادة Antiparticles وتفسير ظواهر التشتت Scattering على المستوى الكمومي. وقد ساهم عباقرة الفيزياء النظرية من أمثال جوليان شوينجر(1918–1994) وريتشارد فاينمان (1918–1988) وفريمان

---

[27] أنظر على سبيل المثال لا الحصر
S. Sakuri, Advanced Quantum Mechanics, Addison-Wesley 1967.

دايسون (1923-) في تطوير آليات رياضية للتعامل مع هذه الحالات وأبدعوا في حساب الكميات المعقدة مما أعطى للنظرية قدراً من المصداقية والثقة. إلا أن نظرية المجال الكمومي واجهت صعوبات أساسية تمثلت في ظهور المالانهايات Infinities عند حساب الكميات الفيزيائية. فالكميات الفيزيائية مثل شحنة الألكترون وكتلته أو مستويات الطاقة للمتذبذب التوافقي البسيط، أولاً وآخراً يجب أن تظهر من حساب القيم المتوقعة لها في إطار النظرية نفسها. لكن الحسابات أنتجت قيماً لا نهائية للطاقة والشحنة والكتلة. كانت هذه صدمة للعاملين في هذا الميدان. ولغرض الإلتفاف على المشكلة إبتدعوا ما يسمى **طرائق إعادة التقويم** Renormalization Procedures التي يقومون بموجبها بحذف الحد أو الحدود المتسببة لظهور المالانهاية. وهكذا يستخلصون نتائج نهائية بأقيام محدودة. وقد تعددت طرائق إعادة التقويم وتنوعت أساليبها في معالجة المالانهايات. إلا أن هذه المالانهايات تؤكد نوعا من عدم الإنتظام المزمن الملازم لنظرية المجال الكمومي كما عبر عن ذلك بيوركن ودريل في مقدمة كتابهم المعنون (المجالات الكمومية النسبوية)[28]. وهكذا يمكن القول أن بنية نظرية المجال الكمومي تعاني من نوع من عدم التجانس بين ما هو متصل وما هو منفصل، بين ما هو جسيمي وما هو موجي... وفيما يبدو فإن الحيلة التي تلبس الموجة لباس الجسيم عبر مفكوك فورييه لا تنجح في التعبير عن الطبيعة الموجية للجسيمات تماماً. لكننا وحتى الآن لا نمتلك آلية نظرية متكاملة كبديل لنظرية المجال الكمومي رغم وجود الحاجة إلى مثل هذا البديل.

---

[28] Bjorken and Drell, *Relativistic Quantum Fields*, John Wiley, 1976.

المجالات الكمومية

المجالات الكمومية Quantum Fields هي تلك المجالات التي تم تكميمها ووصفها بموجب نظرية المجال الكمومي وتمثل القوى القوى الثلاثة المعروفة: الكهرمغناطيسية والنووية الشديدة والنووية الضعيفة. أما الجاذبية فلا تعتبر مجالاً كمومياً لعدم توفر وصف كمومي لها على الرغم من وجود محاولات لذلك ووجود جسيم إفتراضي يسمى الجرافيتون Graviton يصف المجال الجاذبي. وهنالك تداخل بين المجالات Fields والجسيمات Particles يتطلب استجلائه هنا. ذلك أن المجال هو تعبير مجازي عن وجود قوة أو كمون Potential يختفي وراء القوة، لكن تكميم المجال يؤدي إلى ذَرّية مكوناته وجعلها رزماً من المادة أو الطاقة تقوم بدور الوسيط (أو الرسول Messenger) الذي يُفعّل المجال. هذه الرزم هي الجسيمات الممثلة لمجال القوة أو الكمون. إذن فقولنا مجال يرافقه على الدوام قولنا جسيم يحمل هذا المجال أو يفعّله. ولكي نفهم معنى المجال والجسيم نقدم مثالاً يوضح هذه المفاهيم. هذا المثال هو تصوير مبسط للقوى النووية الشديدة الفاعلة بين مكونات نواة الذرة. فمن البديهي أن وجود شحنات متشابهة قريبة من بعضها يجعلها تتنافر بحسب قانون كولوم. وبالتأكيد فإن مثل هذه القوة التنافرية ستتوفر بين بروتونات نواة الذرة. فما الذي يجمع بين هذه البروتونات المتنافرة؟ إنها بحسب تفسير يوكاوا الياباني (1907ـــ1981) النيوترونات. ذلك أن النيوترون في داخل نواة الذرة يُطلق جسيماً سالباً متحولاً إلى بروتون، فيعمد البروتون القريب إلى استلام هذا الجسيم السالب حالاً متحولاً ساعتها إلى نيوترون. وهكذا تستمر هذه العملية دوراة بين البروتونات والنيوترونات. ويكون

شرط التسلم والاستلام أن البروتون لا يتحول إلى نيوترون ما لم يستلم بالفعل الجسيم السالب. وكذا بالمثل لا يتحول النيوترون الذي أطلق الجسيم السالب إلى بروتون ما لم يستلم البروتون الأصل الجسيم السالب. وهذا الاشتراط يجعل أجزاء النواة تتقارب إلى بعضها البعض الاخر تقارباً شديداً بدلاً من أن تتنافر. وهكذا تلعب النيوترونات دور الوسيط في جمع البروتونات إلى بعضها وتحُول دون تمزق النواة. هذا هو السر في أننا لا نجد نواة ذرة واحدة تتألف من برتونين دون أن يوجد ولو نيوترون واحد بينهما. وللسبب ذاته نلاحظ أنه كلما كبرت نواة الذرة إزدادت نسبة النيوترونات إلى البروتونات فيها. هذه القوى النووية الجاذبة ولأنها تعمل فيما بين الجسيمات المتجاورة داخل النواة فإنها دون شك تكون قصيرة المدى إذ يبلغ مداها بحدود 10^{-15} متراً فقط وهي أقوى بكثير من قوى التنافر الكولومي. ونظراً لأن التنافر الكولومي لم يزل موجوداً داخل النواة فهو يعمل على المديات الأبعد، فإن تزايد حجم نواة الذرة يجعل من هذه القوة التنافرية مهيمنة في النوى الكبيرة مما يجعلها تؤدي إلى انطلاق جسيمات ألفا من النوى. وهذا هو السر في أن النوى الكبيرة للذرات تكون مصادر نشطة لجسيمات ألفا.

في هذا الوصف الذي عرضناه للتو تقوم الميزونات وهي التي تسمى الجسيمات الرسولة Massenger Particles بدور نقل قوة المجال النووي أو هي بحق تمثل مجال القوة النووية. من هذا المنطلق يقال دوماً إنه لا يوجد مجال إلا وتوجد جسيمات تمثل ذلك المجال. وهكذا يجتمع الاتصال والانفصال على صعيد واحد. ولما كانت للمجالات المختلفة صفات مختلفة من حيث الشدة والمدى كانت هنالك بالضرورة صفات

للجسيمات الناقلة أو الممثلة للمجال. فالمجالات اللانهائية المدى كالجاذبية (التي يمثلها الجرافيتون) والكهرمغناطيسية (التي يمثلها الفوتون) تكون جسيماتها عديمة الكتلة. والمجالات المحدودة المدى تكون جسيماتها ذوات كتل. وعادةً يتناسب مدى المجال عكسياً مع كتلة الجسيم الذي ينقله. كما إنه قد وجد أن لبرم الجسيمات الرسولة هذه علاقة بالمجال؛ ذلك أن جميع مكونات مجالات القوى هي بوزونات على حين أن مكونات جميع مجالات المادة هي فرميونات.

وتصنف المجالات بحسب صفتها البرمية إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

المجالات العددية: Scalar Fields

وتمثلها الجسيمات ذوات البرم صفر وتسمى أيضاً مجالات كلاين ــ جوردن. ومنها ميزونات پاي mesons - π ويتم وصفها باللاغرانجي

$$L = \frac{1}{2}\left(\partial_{\mu}\phi\right)\left(\partial^{\mu}\phi\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{mc}{\hbar}\right)^{2}\phi^{2}$$

ومعادلة الحركة لها هي

$$\partial_{\mu}\partial^{\mu}\phi + \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^{2}\phi = 0$$

وهنا يعني ∂_{μ} تفاضلاً بالنسبة إلى الاحداثي x^{μ}

المجالات المتجهة: Vector Fields

وتمثلها الجسيمات ذات البرم 1 حصراً. وتسمى أيضاً مجالات پروكا Proca الكتلوية المتجهية. ويتم وصفها باللاغرانجي

$$L = -\frac{1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} + \frac{1}{8\pi}\left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 A^\nu A_\nu$$

حيث أن $F^{\mu\nu} = \left(\partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu\right)$ هو ممتد المجال الكهرمغناطيسي، و A^μ هو الجهد المتجهي. ومعادلة الحركة لهذه المجالات هي

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} + \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 A^\nu = 0$$

فإذا كانت الكتلة صفراً سميت هذه مجالات ماكسويل التي تعبر عن الفوتون.

المجالات البرمية: Spinor Fields

وتمثلها الجسيمات ذات البروم المختلفة الأخرى بما فيها البرم $1/2$ والبروم الكسرية الأعلى والصحيحة فوق الواحد. أي تشتمل على فرميونات وبوزونات. وتوصف هذه المجالات بلاغرانجيات مختلفة كل حسب برمه وأشهرها مجال ديراك الذي يصف اللبتونات (البرم $1/2$) والذي يعبر عنه اللاغرانجي

$$L = i(\hbar c)\overline{\psi}\gamma^\mu \partial_\mu \psi - (mc^2)\overline{\psi}\psi$$

ومعادلة الحركة الأنيقة لها هي معادلة ديراك

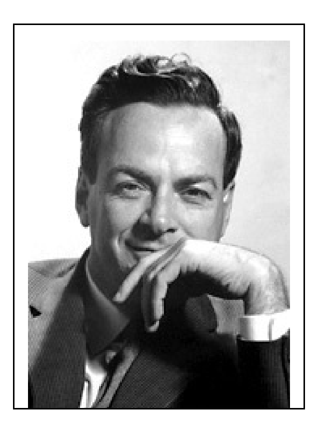
$$i\gamma^\mu \partial_\mu \psi - \left(\frac{mc}{\hbar}\right)\psi = 0$$

حيث أن γ^μ هي ما يعرف بمصفوفات ديراك البرمية.

أما المجالات البرمية الأعلى فتوصف بلاغرانجيات ومعادلات حركة أخرى.

التناظرات والتناظر الفائق

يقصد بالتناظر بقاء الهيئة العامة للنظام على حالها عند تبادل عنصرين من العناصر المكونة أو عند إزاحته مكانيا أو زمانياً خطياً أو دورانياً. مثال ذلك: نقول أن الألكترون و البوزيترون متناظرين عند تبادل الشحنات. ونقول أن البروتون والنيوترون متناظرين عند تبادل الشحنات إذا ما أهملنا الفرق البسيط في كتلتيهما. فالبروتون يصبح نيوترون والأخير يصبح بروتون. لهذا يسمى كل منهما نيوكليون Nucleon.



ريتشارد فاينمان

ولد عام 1918 في نيويورك. درس في معهد ماساتشوستس للتقانة وحصل على البكالوريوس غام 1939. ثم تابع دراسته العليا في برنستون تحت اشراف جون ويلر وحصل على الدكتوراه عام 1942. اشتهر بأبحاثه في الألكترودايناميك الكمومي واخترع فكرة (مخططات فينمان) التي ساعدت في تسهيل حسابات نظرية التشويش ونظرية التشتت. وضع نموذجا للبروتون وشارك في مشروع مانهانتن الذي انتج القنبلة الذرية الأمريكية الأولى. ساهم في أبحاث نظرية كثيرة في مواضيع شتى منها التوصيلية الفائقة والجسيمات الأولية، وكان محاضرا متميزاً. كان آخر أعماله مساهمته في لجنة التحقيق في كارثة مكوك الفضاء تشالينجر. توفي عام 1988.

ومن المعروف أن لنظرية التناظر في الفيزياء الحديثة دوراً كبيراً في الكشف عن خصائص النظم. وقد تمت صياغة نظرية شاملة للتناظرات باستخدام نظرية الزمر Group Theory فتم تسهيل حل الكثير من المسائل من خلال فهم التناظرات. كما تم الكشف عن الكثير من خصائص المواد

من خلال تناظرات بلوراتها. وهنالك علاقة بين تناظر النظام تحت زمرة معينة من التناظرات وقوانين الانحفاظ. فمثلاً وجد أن التناظر تحت الانتقالات المكانية يؤدي إلى انحفاظ الزخم الخطي وإن التناظر تحت التدوير المكاني هو انحفاظ للزخم الزاوي وإن التناظر تحت الانتقال الزماني هو انحفاظ للطاقة. هذه العلاقة المهمة بين التناظر وقوانين الانحفاظ تسمى مبرهنة نويثر Noether’s Theorem.

وقد تم الكشف عن علائق العديد من الجسيمات الأولية من خلال تناظراتها تحت بعض التحويلات. لذلك تحتل موضوعة التناظرات وزمر التناظرات Symmetry Group مكانة مميزة في علم الجسيمات الأولية. فمثلاً حين نريد أن يكون أمامنا نظام مؤلف من جسيمين أحدهما فيرميون والآخر بوزون ونأمل في أن يكون النظام لا تغيرياً عند تبديل البوزون بالفيرميون فإننا هنا نبحث عن تناظر فائق Supersymmetric. إن مثل هذا المطلب لابد أن يكون عسيراً بالفعل فالبوزونات متناظرة والفيرميونات عكسية التناظر. وعلى الرغم من أن أية كمية ممتدة Tensor أو أية مصفوفة مربعة يمكن تمثيلها كحاصل جمع جزئين أحدهما متناظر والآخر عكسي التناظر

$$C_{ij} = \frac{1}{2}(C_{ij} + C_{ji}) + \frac{1}{2}(C_{ij} - C_{ji}) = A_{ij} + B_{ij}$$

فإن المسألة تتطلب أموراً أبعد من ذلك بكثير. ذلك أن الفيرميونات تحكمها علاقات تبادلية Commutation relations على حين أن البوزونات تحكمها علاقات عكستبادلية Anticommutation relations. والجمع بين هذه النظم ليس سهلاً. ولقد وضع فيزيائيو الجسيمات الأولية

آمالاً كبيرة على هذه النظم ذات التناظر الفائق إلا أن التجارب العملية لم تكشف حتى الآن عن وجود جسيم واحد فائق التناظر. وهذا ما خيب آمال هؤلاء الفيزيائيين. ومن المعروف أن التناظر الفائق ركن مهم من أركان نظرية الأوتار الفائقة مما يعني أن عدم إكتشاف التناظر الفائق عملياً يعني وضع هذه النظريات في موقف صعب. والكشف عن مثل هذه الجسيمات هو إحدى المهمات الأساسية التي يسعى إليها فريق العمل في المصادم الهادروني الكبير الذي سنتحث عنه في الجزء الأخير من هذا الكتاب.

5

الجاذبية: النسبية العامة

عالجت نظرية النسبية الخاصة مسائل الحركة ومفاهيم الزمان والمكان واكتشفت أن المكان والزمان هما كينونة واحدة هي الزمكان. وكلاهما لا يظهر إلا بوقوع حدث Event فالزمان هو مقياس للحركة؛ والحركة لابد أن تكون في مكان، سواء كان ذلك المكان موضعاً أو حالة. ومن الجدير بالذكر أن فقهاء المسلمين ومتكلميهم أدركوا بعمق هذه المفاهيم النسبية على المستوى المفاهيمي الأساسي. ويمكن للقارئ أن ينظر في كتاب إبن حزم (الفِصَل في الملل والنحل)[29] أو في كتاب أبو حامد الغزالي (تهافت الفلاسفة)[30] ليطلع على العمق المفاهيمي الذي كان يتداوله مفكروا المسلمين في مسألة الزمان والمكان وعلاقة كل منهما بالجسم[31]. لكن ذلك لم يستمر معهم ليتحول إلى استنتاج رياضي؛ لأنهم لم يكونوا امتلكوا الآلة الرياضية بعد.

---

[29] أنظر: ابن حزم، كتاب الفصل في الملل والأهواء والنحل، ص19-22.

[30] أنظر: أبو حامد الغزالي، تهافت الفلاسفة، تحقيق: مايكل مارمورا، نشر جامعة بركهام يونغ 2001، ص 33-42.

[31] قدم المؤلف بحثا عن هذه المسألة إلى مؤتمر جامعة أكسفورد الذي عقد للفترة 11-13 أيلول سبتمبر 2005 تحت عنوان: الله وآينشتاين والزمان، وكان البحث بعنوان: Time in Islamic

اقتصرت نظرية النسبية الخاصة على معالجة المنظومات الساكنة والمتحركة بسرعة ثابتة أو ما يسمى المراجع القصورية Inertial Frames، أي التي ليست تحت تأثير مجال قوة. فكيف يكون عليه الأمر في المنظومات التي هي تحت تأثير مجال قوة؟ أراد أينشتاين أن يعمم نظرية النسبية الخاصة لتشتمل على مجال القوى أياً كان نوعها لكنه وجد أن مثل هذه المحاولة لن تكون سهلة لذلك ركّز انتباهه على قوة الجاذبية وهي القوة المهيمنة العظمى في هذا الكون. إنتبه أينشتاين إلى التكافؤ الواضح بين الحركة المتسارعة وقوة الجاذبية عندما ينظر إليها موضعياً Locally. فوضع هذا التكافؤ أساساً ومنطلقاً لتعميم نظرية النسبية لكي تشمل المجال الجاذبي. وإذا كانت الفيزياء لتكون واحدة في جميع الأمكنة والأزمنة فإن قوانيها ولا شك لابد أن تكون مصاغة بطريقة تجعلها واحدة بالنسبة إلى جميع الراصدين سواء كانوا ساكنين أو متحركين بتسارع. وأزاء هذا المطلب الأخير وجد أينشتاين إنه لابد من الاستعانة بكميات أخرى ليست المتجهات هذه المرة بل الممتدات Tensors، إذ توفر هذه التكوينات الرياضية أرضية مناسبة للتعامل مع المجال الجاذبي. والآن يتحول فضاء النسبية الخاصة من الزمكان الرباعي المسطح Flat Spacetime الذي تسري عليه قوانين هندسة اقليدس إلى زمكان محدب لا يتقيد بمسلمات هندسة اقليدس ولا بنتائجها. فكان هذا الزمكان المحدب الذي يخضع لقوانين هندسة ريمان اللاإقليدية. إذن فالمجال الجاذبي يغير

Kalam ويمكن للقارئ أن يجد ملخصه على موقع المؤلف. ولمزيد من التفصيل يمكن مراجعة كتابنا (دقيق الكلام: الرؤية الاسلامية لفلسفة الطبيعة)، عالم الكتب الحديث، 2009.

هندسة الفضاء فيحيلها من الهندسة الإقليدية التي نعرفها إلى هندسة لسنا متآلفين معها، هي هندسة السطوح المحدبة، هندسة ريمان.

معادلات أينشتاين للمجال

وجد أينشتاين ضرورة تعميم نظرية النسبية الخاصة حتى تشمل مجال القوى ولا تقتصر على المنظومات القصورية. وأمضى في محاولاته عشر سنوات تأمل خلالها أموراً كثيرة. تأمل حالة جسم يسقط على الأرض سقوطاً حرا وعرف أنه يسقط بتسارع إذ تتزايد سرعته كلما اقترب من الأرض. قارن أينشتاين هذه الحالة مع جسم يُترك حراً في مركبة فضائية تتحرك بتسارع في فضاء تماماً خال من الجاذبية فوجد أن الجسم يسقط بتسارع نحو الإتجاه المعاكس لحركة المركبة. ثم درس أينشتاين حالتين أخريتين: مركبة فضائية ساكنة أو متحركة بسرعة ثابتة في فضاء خالٍ من الجاذبية مع مصعد يسقط سقوطا حراً نحو الأرض، فوجد أن كلا الحالين يمثل إنعدام الجاذبية إذ أن المصعد الساقط نحو الأرض سقوطا حراً يشكل فضاءً ينعدم فيه وزن الأشياء تماماً. قارن أينشتاين تلك الحالات الأربع واستنتج أن الجاذبية مكافئة موضعيا للتسارع. فصاغ هذا الاستنتاج بما سمي مبدأ التكافؤ Principle of Equivalence.

تأمل أينشتاين مفهوم التسارع فوجده علاقة لاخطية بين المكان والزمان. ولكي يصوغ هذه العلاقة اللاخطية في نظام إحداثي خطي متعامد كان من الضروري أن يستعمل رياضيات مناسبة تصف الحركة اللاخطية ولم يعد بالإمكان التعبير عن الكميات بالمتجهات vector

التقليدية، بل كان لابد من كميات رياضية أكثر عمومية قادرة على استيعاب لاخطية الزمكان. هذه الرياضيات وجدها في الممتدات Tensors.

كان على أينشتاين أولاً أن يصوغ معادلة المجال العام. وحضر إلى ذهنه أولاً معادلة بواسون التقليدية في أبعاد ثلاثة

$$\nabla^2\phi = -4\pi\rho$$

حيث ϕ هي الجهد الجاذبي و ρ كثافة الطاقة. لكنه استدرك أن عليه أن يقوم بخطوتين لتعميم هذه العلاقة حتى تكون مناسبة لوصف المجال الجاذبي اللاخطي وفق هندسة زمكان محدب. الأولى أن يشمل البعد الرابع الزمن والثانية أن يغير العلاقة لكي تصف الزمكان المحدب. وبذلك تمكن أينشتاين من صياغة المعادلات العامة للمجال بالصيغة التالية

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{8\pi G}{c^2} T_{\mu\nu}$$

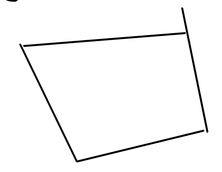
حيث يمثل الحد الأول منها ما يسمى ممتد (تنسور) ريكي والحد الثاني يمثل الممتد القياسي $g_{\mu\nu}$ مضروباً في التحدب وهذا الطرف الأيسر من المعادلات كله يمثل الجزء الهندسي من الفضاء. أما الطرف الأيمن من الفضاء فإنه يمثل المحتوى المادي معبراً عنه ممتد الطاقة والزخم $T_{\mu\nu}$. أما G و c فهما ثابت الجاذبية النيوتني وسرعة الضوء على التوالي. ومن الجدير بالذكر هنا أن المركبات المكانية لممتد الطاقة والزخم هي مركبات الزخم الثلاثة المعروفة أما المركبة الزمانية للممتد فهي كثافة الطاقة/المادة Density.

إن معادلات أينشتاين الواردة أعلاه هي بصورتها العامة في الفضاء الرباعي الأبعاد تعبر عن 16 معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية وذلك لأن

الدلائل μ و ν كل منها يأخذ أربعة قيم من 0 إلى 3. وفي الحالات الفيزيائية الخاصة للفضاء المتجانس Homogenous والمتناسق Isotropic يكون الممتد القياسي قطرياً وبالتالي يختزل عدد المعادلات التفاضلية المستقلة إلى أربعة فقط. ومن الواضح أن الطرف الأيمن لمعادلات أينشتاين يختزل كل الجزء الهندسي لتوصيف الفضاء بوجود الطرف الأيمن الذي يختزل كل الوجود المادي الذي يحويه الفضاء. بالتالي فإن معادلات أينشتاين هي علاقات تكافوء بين هندسة الفضاء ومحتواه المادي.

من الجدير بالذكر هنا أن المشتقة العادية تتحول في الفضاء المحدب إلى ما يسمى المشتقة العمودية Covariant Derivative وهي تساوي المشتقة العادية مضافاً اليها كمية معينة تعتمد على مقدار تحدب الفضاء. ويعود السبب في هذا إلى حقيقة أن المشتقة هي بالأساس إزاحة من نوع ما. وفي الفضاء المحدب الرباعي الأبعاد لا تتواصل حركة النقطة على محيط رسم هندسي مغلق لتعود إلى موضعها الذي بدأت منه؛ بل لا بد من فرق سلباً أو ايجاباً. وهذا الفرق يعتمد ما إذا كان الفضاء محدبا موجبا أو ذي تحدب سالب. وتظهر هذه المسألة بجلاء حين نحاول رسم مربع على السطح الداخلي لكرة مثلاً إذ يتبين أننا في الحقيقة لن نتمكن من غلق المربع. ولتقريب المسألة إلى الأذهان نقول أن تعريف المربع أساساً يتضمن شرطين: إنه شكل هندسي ذي أربعة أضلاع متساوية في الطول وأن تكون زواياه قائمة. وحين نرسم مربعا على سطح كروي فإننا لا نستطيع أن نضمن أن تكون زواياه قائمة. فمجموع زوايا المربع المرسوم على سطح موجب التحدب (سطح كرة مثلاً) هي أكبر من 360 درجة. وهذا ما يجعل رأس الخط الذي نبدأ عنده رسم المربع لا يلتقي

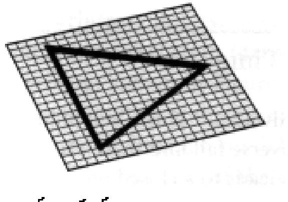
بنهاية الخط الذي ننهي به رسم المربع إذا ما اشترطنا أن تكون زوايا المربع كل منها 90 درجة تماماً. وللسبب عينهُ لا يمكن فرش نصف كرة (نصف برتقالة مثلاً) على سطح مستوي بل سنجد أن مساحة سطح البرتقالة أقل من أن يغطي الدائرة على سطح المستوي والعكس صحيح.

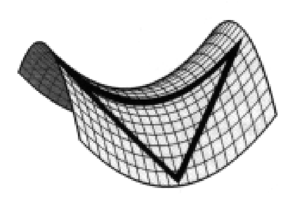


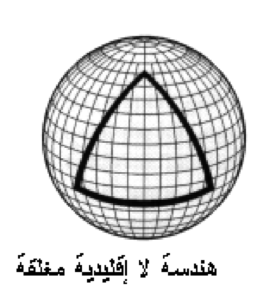
الشكل (11) محاولة لرسم مربع على سطح كرة

من الواضح أن معادلات أينشتاين للمجال قد جعلت هندسة الفضاء تتحدد بموجب المحتوى المادي الذي فيه. ومن منظور آخر يمكن القول أن التأثير المادي للفضاء يرتبط بهندسته. لذلك يصح القول أن هذه المعادلات تعبر عن تكافؤ الهندسة والمادة كما قلنا. وقد كان أينشتاين يحلم بمزيد من الوصف الهندسي للمادة وعمل من أجله أكثر من ثلاثين سنة منطلقا من نزعة أفلاطونية دفينة تجد المثال والخلود في الهندسة والتشويه والفساد في المادة. لكنه لم يتمكن من تقديم مثل هذا الوصف.

لقد وجد أن هنالك ثلاثة ثلاثة هندسات للفضاء: هندسة السطوح المفتوحة ويمثلها تحدب سالب مثل سرج الحصان وهندسة مستوية يمثلها سطح منبسط Flat ذي تحدب صفري، وهندسة مغلقة يمثلها تحدب موجب كسطح الكرة. وهذه مبينة الهندسات في الشكل التالي المرسوم في بعدين فقط للتبسيط. الهندسة المفتوحة والهندسة المغلقة كلاهما توصف بأنها هندسات لا إقليدية على حين أن الهندسة المستوية هي التي نصفها بأنها إقليدية.







الشكل (12) هندسة الفضاء بأنواعها الثلاثة

حلول معادلات أينشتاين

قلنا أن معادلات أينشتاين هي معادلات تفاضلية. لذلك فإن معرفة هندسة الفضاء تتطلب حل هذه المعادلات. وهنالك نوعين من الحلول لمعادلات أينشتاين؛ **الأولى:** نسميها حلول موضعية تصف المجال الجاذبي خارج الكتلة. والثانية هي الحلول الكونية التي تصف الزمكان الناتج توزيع فضائي للمادة والطاقة بخصائص شمولية Global معينة.

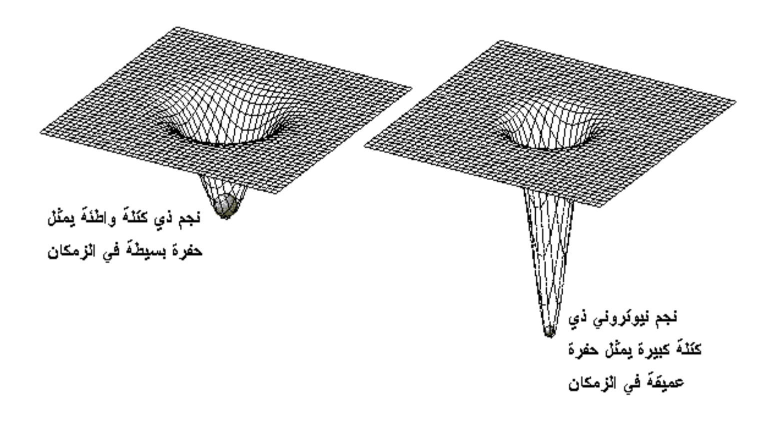
الحلول الموضعية:

والحل الرئيسي لهذه المسألة هو حل كارل شفارتزشلد Schwarzschild Solution الذي توصل اليه مباشرة بعد أن نشر أينشتاين نظرية النسبية العامة عام 1916. وهذا الحل يصف المجال الجاذبي كتحدب للزمكان خارج الكتلة. فالكتلة التي هي مصدر القوة الجاذبة أصبحت في مفهوم أينشتاين عبارة عن شيء يولد تحدباً لشبكة الزمكان في نطاق معين. بمعنى أن الكتلة تكافئ الآن حفرة في الزمكان حيث يُنظر إلى الكتلة

متمركزة في نقطة تكون مركزا للمجال الجاذبي. وبموجب حل شفارتزشلد فإن الفترة الزمكانية خارج كتلة M عند نقطة تبعد عن مركزها R يوصف بما يلي:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 R}\right)c^2 dt^2 - \frac{dR^2}{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 R}\right)} - R^2\left(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2\right)$$

نلاحظ أن هذا الحل يؤدي إلى حالة شذوذ فيزيائي عند السطح الكروي الذي يمثله $R = \frac{2GM}{c^2}$. وهذا ما يسمى نصف قطر شفارتزشلد. وحين يصبح نصف قطر أي جسم بهذا المقدار فإنه يتحول إلى ثقب أسود. وذلك أنه عند هذه الحالة تصبح سرعة الافلات من سطح ذلك الجسم مساوية لسرعة الضوء. فلا يمكن رؤية ذلك الجسم حتى لو كان نجماً ساطعاً إذ سيرتد ضوئه إليه ولا يصلنا. يسمى السطح الذي قطره **أفق الحدث** Event Horizon.



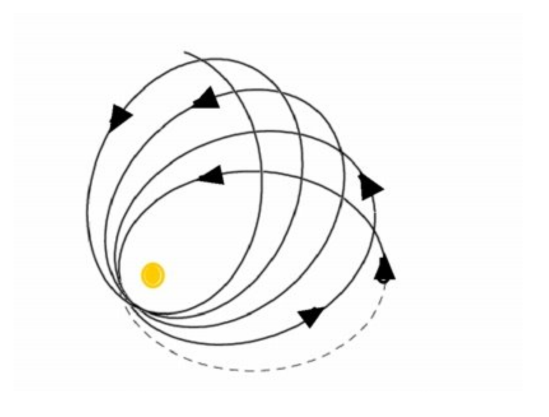
الشكل(13) يمثل وجود الكتلة حفرة في الزمكان، فإذا ما تحولت هذه الحفرة إلى ثقب أسود صارت بئرا لا قرار له ولذا فهي ثقب في الزمكان.

نتائج نظرية النسبية العامة

جاءت نظرية النسبية العامة بنتائج جديدة على صعيد المفاهيم وعلى صعيد الظواهر الفيزيائية. فعلى صعيد المفاهيم تحولت الجاذبية من مجال قوة ينتشر وفق قانون التربيع العكسي بحسب مفهوم الفعل على البعد إلى كونها الآن قوة تنشأ عن تحدب الزمكان وبالتالي صارت مسالك الكواكب حول الشمس أشبه بمضامير السباق التي تسير فيها الخيول لكنها هذه المرة محدوبة زمكانياً بإتجاه الشمس.

زحزحة مدارات الكواكب

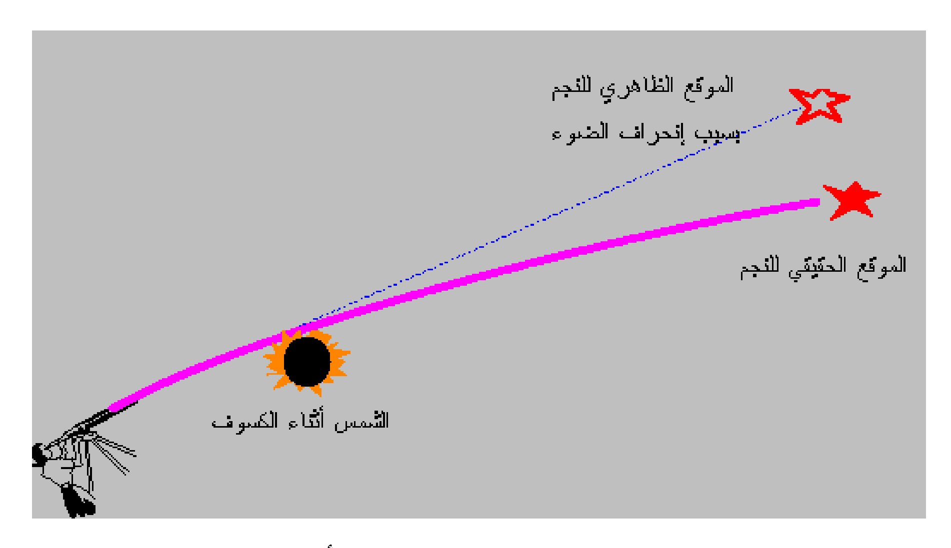
وفق هذا المفهوم تبين أن مدارات الكواكب غير مستقرة بمعنى أن الكوكب لا يعود إلى موضع حضيضه نفسه عند إكماله دورته بل هو حقاً لن يعود قطعاً إلى موضعه السابق أبداً. وقد تمكن ألبرت أينشتاين من حساب مقدار الزحزحة المدارية لكوكب عطارد ووجد أنها تساوي 43 ثانية قوسية في القرن. وهذا مقدار على جانب من الصغر لم تكن لتدركه نظرية نيوتن في الجاذبية. وقد تم التأكد من هذه الزحزحة وتم قياسها في أرصاد كثيرة حتى الآن إلا أن دقة القياس لم تزل ضعيفة لصغر هذه الزحزحة. ومن المعلوم أن لعطارد أكبر زحزحة لقربه من الشمس أما الكواكب الأخرى فلها زحزحات أقل.



زحزحة حضيض الكواكب

إنحراف الضوء بتأثير الجاذبية

أما وقد أصبحت الجاذبية عبارة عن تحدب للزمكان فإن الضوء وهو يسير في الفضاء يتبع المعارج الزمكانية التي يخُطُّها تحدب الفضاء حول الكتل. وذلك أن الضوء، وهو مجال كهرمغناطيسي، يتبع ما يسمى بالمعارج الصفرية Null Geodesics فهذه المعارج هي مسارات الضوء. والمعارج الصفرية هذه هي نفسها خطوط الزمكان. وهكذا يصبح بإمكاننا معرفة طبوغرافية الزمكان حول أية كتلة إذا تمكنا من تتبع مسارات أشعة الضوء حول تلك الكتلة. لهذا السبب ينعرج الضوء حول الكتل ويظهر ذلك الانعراج واضحا حول الكتل الكبيرة إذ يكون تحدب الزمكان أشد. وهكذا عندما يمر شعاع ضوئي قادم من نجم يقع خلف الشمس مثلاً فإن تحدب الزمكان حول الشمس سيجعل هذا الشعاع ينعرج مقترباً من الشمس وبالتالي ينحرف إتجاهه عن ما كان عليه قليلاً وكما مبين في الشكل التالي:



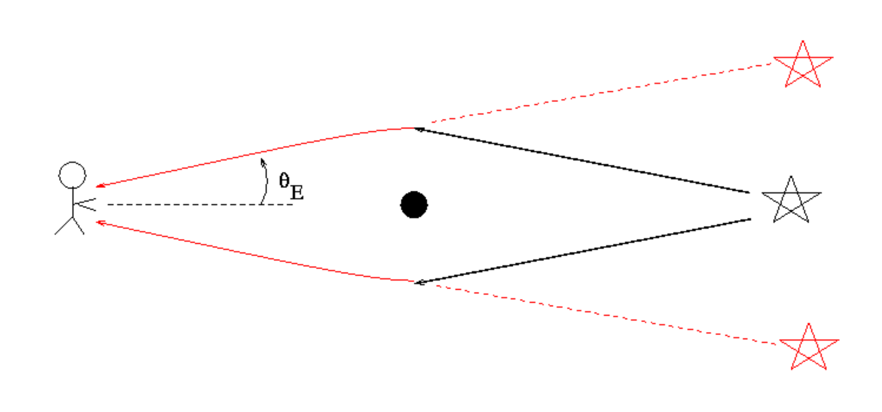
الشكل (14) إنحراف الضوء بتأثير الجاذبية

لقد قام ألبرت أينشتاين بحساب مقدار إنحراف شعاع الضوء الذي يمر عبر حافة الشمس ووجد عام 1911 أنه يساوي 0.85 ثانية قوسية معتمداً مبدأ التكافؤ والصورة النيوتنية للجاذبية، وقبل أن يضع نظرية النسبية العامة. ثم أعاد الحساب بعد ذلك ووجد أن الانحراف الصحيح هو ضعف هذا المقدار أي 1.7 ثانية قوسية. وقد تم التأكد من هذا التنبؤ خلال الكسوف الكلي الذي حصل عام 1919 إذ قاد السير آرثر إدينجتون حملة استكشافية رصدت الكسوف الشمسي الذي حصل ذلك العام في منطقة بجنوب أفريقيا وتمكن من تأكيد صحة ما توقعه أينشتاين بدقة مقبولة. وهكذا جاءت هذه النتيجة دعماً قوياً مباشراً لنظرية النسبية العامة. واتخذ الموضوع أهمية إعلامية كبيرة في بريطانيا وعموم العالم الغربي أسهمت في الترويج لنظرية النسبية ولشخصية أينشتاين.

التعدس الجاذبي

نتيجة لإنحراف الضوء بتأثير الجاذبية يمكن أن تعمل الكتل الكبيرة المتمركزة في أنطقة ضيقة على تركيز الضوء في بؤرة كما تركز العدسة البصرية أشعة الضوء. وهذا التأثير يؤدي إلى ظهور صور متعددة للمصدر الواحد. وهذا ما يسمى التعدس الجاذبي Gravitational Lensing.

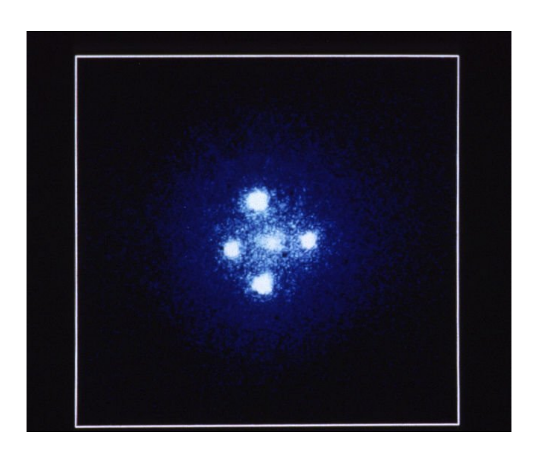
وبسبب هذه الظاهرة يظن البعض أن الكون الذي نشاهده ربما كان شيئاً من الوهم فهو لا يُظهر ما يحتويه بالفعل، بل ربما كانت هنالك صور مكررة لأجرام كبيرة كالمجرات وكأن الكون على حقيقته أقل كثافة مما نراه. وهذا ما دعى إلى الحديث عن (الكون المرآة).



الشكل (15) التعدس الجاذبي

إن التعدس الجاذبي يؤدي إلى ظهور صور متكررة للمجـرات البعيـدة والأجرام الأخرى متوزعة على محيط دائـرة تسـمى حلقـة أينشـتاين Einstein Ring. وتجري اليوم أرصاد فلكية كثيرة تستهدف الكشف عـن

الصور الخيالية الغير حقيقية الناتجة عن التعدس الثقــالي. ويــتم أيضــا أستثمار ظاهرة التعدس الجاذبي في الكشف عن الأجرام المخفيــة ذوات الكتل التي لا تصدر إشعاعات قابلة للكشف وبالتالي لا يمكــن معرفتهــا بطرق مباشرة. ومن خلال التعدس يمكن تخمين كتلة ذلك الجــرم. لقــد أصبح التعدس الجاذبي خلال السنوات العشر الماضــية وســيلة ممتــازة للكشف عن المادة المظلمة (غير المرئية) في الكون وهذا ما سنتحدث عنه بتفصيل أكثر لاحقاً.



الشكل (16) صورة من تلسكوب هابل للتعدس الجاذبي

تباطؤ الزمن بتأثير الجاذبية

تقترح نظرية النسبية العامة أن المعدل الزمني للأحداث قرب الكتل يتباطأ ويزداد هذا التباطؤ كلما كبرت الكتلة. هذه النتيجة طبعا سببها تحدب الزمن بسبب الجاذبية مما يعني أن الفترات الزمنية قرب الكتل الكبيرة ستكون أطول من تلك التي تمر في مناطق بعيدة عن تأثير الجاذبية، حيث يكون الزمان أقل تحدباً أو شبه منبسط. وكلما كانت

الجاذبية شديدة كلما كان تباطؤ الزمن أكبر حتى إن الزمن ليتجمد وتتحقق حالة الخلود قرب أفق الحدث للثقوب السود. لكن ينبغي أن نلاحظ أن هذا القياس هو ما نسميه الزمن الإحداثي Coordinate Time طبعاً. أما الزمن بالتوقيت المحلي (أي الزمن الصحيح) للمنطقة، فإنه لن يتأثر بالجاذبية بل يبقى نفسه لأن وحدة قياس الزمن نفسها ستتكمش أيضاً بتأثير الجاذبية. وبالتالي لن يتأثر الزمن المحلي بل يبقى هو نفسه في جميع أرجاء الكون.

الإنحراف الأحمر بتأثير الجاذبية

إن تباطؤ الزمن بتأثير المجال الجاذبي يؤدي بالتالي إلى أن ترددات الأمواج المنبعثة عن مصادر تقع قرب الكتل الكبيرة ستقل عن مثيلاتها التي تقع بعيداً عن الكتل. بمعنى أن الطول الموجي للضوء الصادر عن عن مصدر قرب مجال جذبي شديد سيكون أطول. وبالتالي يؤدي هذا إلى إنحراف الطيف الموجي إلى الناحية الحمراء من الطيف، فنرى النجوم ذوات الكتل العظيمة أكثر حمرة مما هي عليه في الحقيقة. وتسمى هذه ظاهرة الانحراف الجذبي الأحمر Gravitational Redshift. لقد تم التأكد عملياً من حصول هذه الظاهرة برصد الأمواج القادمة من البلسارات والنجوم العملاقة وتم التحقق من حصول ظاهرة الانحراف الأحمر لأمواج هذه النجوم.

الثقوب السود

هنالك خلط كبير في مفهوم الثقب الأسود فقد يعتقد البعض أن الثقوب السود هي أجرام كثيفة جداً بالضرورة. وقد يعتقد البعض أن هذه الثقوب ذات جاذبية ثقالية لا نهائية بحيث أنها تكون قادرة على ابتلاع كل

شيء وكأن شدة مجالها الجاذبي لانهائية. والحقيقة أن هذا من جملة المفاهيم الخاطئة عن الثقوب السود التي ساهمت في انتشارها الكتب التي تقدم معلومات علمية مبسطة لأغراض تجارية فتتعسف في التبسيط وتتعمد الإثارة والتهريج وتنقل إلى القارئ معلومات خاطئة.

والصحيح أن الثقوب السود هي أحياز من الفضاء تكون محاطة بسطوح تحُدُّها عن باقي الفضاء بحيث تكون سرعة الافلات عندها هي سرعة الضوء تماماً. فإذا ما وجد أي جسيم أو أية طاقة بأي شكل من الأشكال عند هذه السطوح فإنها لن تستطيع الهروب عنها بل ستنجذب إلى باطن الحيز دون رجعة. وتسمى تلك السطوح المحددة للثقب الأسود أفق الحدث Event Horizon.

كانت فكرة الثقب الأسود قد راودت جون ميتشل في القرن الثامن عشر ثم ذكرها بيير لابلاس في بعض كتاباته. وضمن إطار التصور النيوتني للجاذبية يمكن القول أن الثقب الأسود هو جرم منكمش إلى حيز تصير عند سطحه سرعة الافلات مساوية لسرعة الضوء تماماً. ومن المعروف أن سرعة الافلات هي

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

بالتالي فإن الثقب الأسود وفق المفهوم النيوتني الكلاسيكي هو أي جرم كروي تكون نسبة كتلته إلى نصف قطره هي

$$\frac{M}{R} = \frac{c^2}{2G} = 6.74 \times 10^{26}\,\text{kg/m}$$

حيث أن مثل هذا الجرم يمتلك سرعة إفلات بقدر سرعة الضوء أو أكثر فيمنع حتى الضوء من الافلات عن سطحه وبالتالي لن يُرى.

أما في نظرية النسبية العامة فإن مفهوم الثقب الأسود يتخذ معنى أعمق من خلال كونه يمثل حالة فردنة كونية إذ يعبر عنه بالحالة المتفردة لسطح افق الحدث لحل شفارتزشلد التي تحدثنا عنها آنفا. وهو هنا أيضا حيز في الفضاء يفصله عن بقية الفضاء أفق الحدث. إنما التحدب المنوه عنه للفضاء يصبح تحدب زمكاني لانهائي عند نقطة الفردنة الحقيقية عند $R = 0$. إن الفردنة الظاهرية عند

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

في صيغة شفارتزشلد للفضاء قابلة للإزالة عن طريق تغيير نظام الاحداثيات لذلك تسمى هذه فردنة إحداثيات Coordinate singularity. أما الفردنة الحقيقية فهي التي عند R=0. والحقيقة التي ينبغي ملاحظتها هي أن افتراض وجود الفردنة ينسجم مع التصور النسبوي الكلاسيكي بمعنى عدم أخذ التأثيرات الكمومية بنظر الاعتبار أما إذا ما أخذنا التأثيرات الكمومية بالإعتبار فمن المحتمل أن لا توجد فردنة مطلقة.

إذن من الناحية النظرية يمكن أن يوجد الثقب الأسود بأي حجم كان وأية كتلة كانت، لكن عليه أن يحقق الشرط الأساس لنسبة الكتلة إلى نصف القطر فعند هذه النسبة يوجد أفق الحدث. فلكياً يمكن أن يولد الثقب الأسود عندما يؤول نجم كبير إلى مصيره عندما ينفذ وقوده الاندماجي الذي يبقيه متألقا فينكمش النجم على نفسه وتنضغط أجزاؤه على بعضها وتزداد كثافته كثيراً وتقترب ذراته من بعضها وأسمي عملية الانكماش هذه

التكوير[32]، وهي تقابل المصطلح الأجنبي Gravitational Colllapse. ويمكن أن يستمر التكوير حتى تتقارب ذرات النجم إلى مسافات صغيرة جداً ينشأ معها حالة ما يسمى **التحلل الألكتروني** Electron Degeneracy وعندها تنشأ قوة تنافر بين الألكترونات المحشورة في أحياز ضيقة تسند النجم من مزيد من الانكماش فتوقف عملية التكوير عند هذا الحد عندما تكون كتلة النجم بحدود 1.4 كتلة شمسية. ويصبح النجم عندئذ ما يسمى القزم الأبيض White Dwarf. أما إذا كانت الكتلة أكبر من ذلك فإنه قوة التحلل الألكتروني لن تتمكن من إسناد النجم بل سيستمر التكوير حتى تنسق الذرات وتندمج الألكترونات مع نوى الذرات ويصير النجم كتلة من النيوترونات. فتنشأ قوة التحلل النيوتروني Neutron Degeneracy وهي قوة تنافر شديدة جداً تمنع استمرار التكوير وتوقفه إذا كانت كتلة النجم لا تتجاوز 3.4 من كتلة الشمس. ويسمى النجم في هذه الحالة نجم نيوتروني Neutron Star. أما إذا زادت الكتلة عن هذا فإن التكوير يستمر ولن يتوقف حتى تؤول مادة النجم إلى نقطة هي الفردنة التي يتحدثون عنها والموجودة في قلب حيز الثقب الأسود. وهنا ينشأ أفق الحدث حالما يمر النجم بالحالة التي تصبح فيها نسبة كتلته إلى نصف قطره بالقدر الذي ذكرناه آنفا.

ومن المعروف أن الشمس ستتحول حسبما يقرر علم فيزياء النجوم إلى قزم أبيض ذلك أن كتلتها غير كافية لتصير نجما نيوترونياً أو ثقباً أسودا.

---

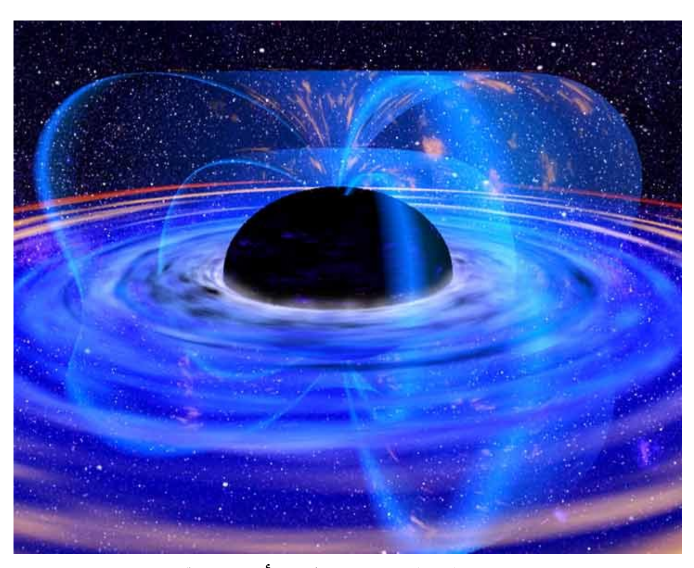
[32] التكوير في العربية ضم الشيء بعضه إلى بعض ويكون في دور أي أثناء الدوران ومنه قولهم كور العمامة. أنظر: معجم المقاييس في اللغة لإبن فارس.

ولو تحولت إلى ثقب أسود لأصبح قطرها بما لا يزيد على 6 كيلومترات فقط.

إن جاذبية الثقب الأسود تكون عظيمة لأن كتلته منكمشة كثيراً إلى حيز ضيق. لذلك فمن الخطأ تصور أن للثقب الأسود جاذبية أخرى غير التي نعرفها. أما بخصوص كثافة الثقب الأسود فإنها يمكن أن تكون ضئيلة جداً بل أقل من كثافة الهواء كثيراً إذا ما كانت كتلته كبيرا جداً. والسبب في ذلك أن كثافة الثقب الأسود تتناسب عكسيا مع مربع كتلته. فالثقوب السود المجرية ذات الكتل التي تبلغ ملايين الكتل الشمسية تكون كثافتها قليلة جداً.

الثقب الأسود الدوار (ثقب كير)

كان كير Kerr قد اقترح حلاً موضعياً آخر لمعادلات أينشتاين. وبموجب هذا الحل جعل المادة المتكورة حرة الحركة مما يعني أنها ستدور بحكم ضرورة انحفاظ الزخم الزاوي وهذا مما سيجعل سرعة دورانها تتزايد كلما إنكمش حجمها. وعند هذا يكون للثقب الأسود ثلاث متغيرات معلومة وهي: كتلته وشحنته ومقدار زخمه الزاوي. وفي عام 2006 نشرت أبحاث تشير إلى وجود ثقب أسود دوار في مجرتنا وتم تخمين سرعة دورانه بأنها بحدود 1150 دورة في الثانية الواحدة. لكن هذه القراءات لم تزل غير مؤكدة والخلاف حولها لازال غير منته. ومن المعلوم أن الثقب الأسود الدوار سيؤلف مركزا هو أشبه بالدوامة العاصفة إذ تنهمر عليه الأشياء من كل صوب وحدب بسرعة فائقة يكسبها دوران الثقب الأسود طاقة عظمى لذلك حاول البعض الربط ما بين الثقوب السود سريعة الدوران وإنبعاثات أشعة جاما الكونية.



الشكل (17) تصور لثقب أسود دوّار

تبخر الثقوب السود

اقترح هوكنج عام 1975 من خلال حسابات أجراها مستخدما المجال العددي الأصغري الارتباط Minimally Coupled Scalar Field أن الثقوب السود يمكن أن تتصرف كجسم ساخن حرارته تتناسب عكسيا مع كتلته. وبالتالي تكون الثقوب الصغيرة الكتلة ساخنة جداً بينما تكون الثقوب الكبيرة باردة جداً. ولما كانت الأجسام الساخنة تشع طاقتها الحرارية بالضرورة إلى الفضاء الذي حولها فإن الثقوب السود ستفعل حسب تصورات هوكنج الشيء نفسه وتتبخر تدريجياً. وقد وصل هوكنج إلى هذه النتائج عبر حسابات كمومية مؤتلفة مع الخلفية الكلاسيكية للمجال الجاذبي. وقد سميت هذه إشعاعات هوكنج Hawking Radiations. ومنذ ذلك الحين وخلال الخمسة والثلاثين سنة الماضية وكثير من الراصدين يراقب السماء لعله يعثر على إشعاعات هوكنج أو آثارها. فيما يترقب

ستيفن الحدث نفسه وكله أمل أن يحصل على جائزة نوبل قبل أن يدركه الموت فهذه الجائزة لن يحصل عليها ما لم تُكتشف الأشعة التي تنبأ بها.

لماذا لم نكتشف إشعاعات هوكنج؟

هنالك احتمالات عديدة لعدم اكتشاف إشعاعات هوكنج منها:

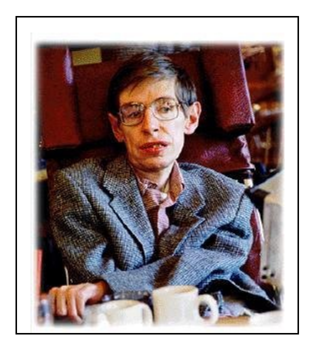
1. أن هذه الأشعة غير موجودة بالفعل بل هي تنبؤ نظري قادت إليه حسابات في حالة معينة، خاصة وإن هوكنج استخدم المجال العددي الأصغري الإرتباط عديم الكتلة على حين أن وجود مجال جذبي شديد قرب افق الحدث يتنافى مع إمكانية وجود فيزيائي لهذا المجال.

2. أن هذه الأشعة تتولد على مسافة قريبة من أفق الحدث بما يجعلها عُرضةً لأن يتم امتصاصها مباشرة من الثقب الأسود نفسه ولا يسمح لها بالهروب عنه. ومن المعروف أن الأدبيات المنشورة عن هذه الاشعاعات تشير إلى تولدها قرب أفق الحدث للثقب الأسود دون أن تذكر المسافة. وقد وجدنا من خلال حسابات استخدمنا فيها مبدأ عدم التحديد أن إشعاعات هوكنج المزعومة تتولد ما بين أفق الحدث وأربعة أثلاثه[33]. أي

$$R = \frac{4}{3} R_s$$

[33] M.B. Altaie, *An upper limit on the region of particle creation by black holes*, Hadronic J. **26**, 779-794, (2003).

وبموجب مسارات الجسيمات ومنها الفوتونات بحسب ما تقرره نظرية النسبية العامة فإن أي جسيم يتواجد في المنطقة عند $1.5R_s$ أو أقل منها فإنه يقع على الثقب الأسود لا محالة. مما يعني أن إشعاعات هوكنج المزعومة ربما تتولد قرب أفق الحدث للثقب الأسود إلا أنها لا تلبث إلا قليلاً، إذ يجري امتصاصها من قبل الثقب الأسود نفسه فلا تظهر للراصد من الخارج.



ستيفن وليام هوكنج

ولد في العام 1942 بينما كانت عائلته قد ارتحلت موقتاً إلى أكسفورد هرباً من العاصمة لندن التي كانت تحت القصف الألماني. أكمل دراسته الجامعية في أكسفورد وحصل على البكالوريوس عام 1962. ومن ثم انتقل الى كمبردج فأجرى دراساته العليا تحت اشراف دنيس شاما وحصل على الدكتوراه عام 1966. أجرى الكثير من الأبحاث الأساسية في نظرية النسبية العامة وألف عددا من الكتب المرجعية الرصينة مع آخرين مثل جورج إلس. أصيب هوكنج منذ وقت مبكر بداء عضال أقعده جسديا إلا أن عقله النير بقي متوقداً. انتخب عام 1974 عضواً في الجمعية العلمية الملكية بلندن وكان الأصغر سنا ممن انتخبوا أعضاء في هذه الجمعية. ساهم في دراسة الثقوب السود على نحو واسع وقادته دراساته الى التنبؤ بظاهرة تبخر الثقوب السود، إلا أن الأرصاد الكونية لم تكشف حتى الآن عن إشعاعات هوكنج. حصل هوكنج على شهرة ونجومية بعد تأليفه كتاب (تاريخ موجز للزمن) الذي طُبعت منه عشرات الملايين من النسخ كما اكتسب ثروة كبيرة أعانته ربما على الزواج مرة ثانية من ممرضته بعد أن طلق زوجته الأولى. يُعد ستيفن هوكنج من النظريين البارزين في دراسات الثقوب السود والكوزمولوجيا النظرية. على الرغم من تردي حالته الصحية مؤخرا فإن هوكنج لازال يقوم بإلقاء المحاضرات العامة في دول مختلفة.

إن هنالك من يُشَكِك في إمكانية وصول الضوء الأخير الصادر عن الثقب الأسود الينا خلال زمن محدود وذلك لأن الجاذبية التي عند أفق الحدث تجعل شعاع الضوء الأخير الصادر عن الجرم المنهار ليصبح ثقبا أسود يستغرق زماناً لانهائياً. والحق أن هذا صحيح بحسب نظرية النسبية العامة والذي يعني أن النجم سيبقى مضيئاً على الدوام ولن يختفي عن النظر. لكن الصحيح أيضاً أن إزاحة حمراء لانهائية للموجة الأخيرة الصادرة عن الجرم المتحول إلى ثقب الأسود ستعني إختفائه عمليا عن النظر.

إن شعبية هوكنج وسلطته العلمية لا تسمح بتكذيب ما توصل إليه، لكن السنوات الأخيرة كشفت عن أن هذا الرجل تراجع مؤخراً عن بعض أفكاره الأساسية التي تخص فقدان المعلومات عن الأشياء التي تقع على الثقوب السود، مما أثار ضجة في الوسط العلمي. وكان قد أعلن ذلك خلال المؤتمر السابع عشر لفيزياء النسبية العامة والجاذبية الذي عقد في دبلن عام 2004. وفي كل الأحوال تبقى كثير من الأفكار المتعلقة بالثقوب السود والمجالات الكمومية واقعة في دائرة التخمينات النظرية ما لم تتوفر نظرية متكاملة تكمم الجاذبية. وذلك أن كثيرا من الأبحاث التي نُشرت بشأن الثقوب السود وإشعاعات هوكنج لم تأخذ النواحي العملية بنظر الاعتبار، أعني أن كثيرا من الأبحاث التي نشرت كانت في الحقيقة حالات خاصة ممكنة طبعا لكنها لما تحط بما هو عليه بالفعل واقع الحال، ومن أهم المقاصد هنا التعامل مع المجال العددي الأصغري مستقلاً عن تأثير تحدب الزمان. حيث تشير الحسابات إلى أن المجال العددي الأصغري لا يمكن أن يتوفر

مع وجود التحدب الزمكاني الشديد ومثل هذا التحدب يكون بالطبع متوفرا قرب أفق الحدث، أي في المنطقة التي يتوقع هوكنج أن يتم فيها تخليق الجسيمات التي تشكل ما يسمى إشعاعات هوكنج.

ومع هذا يبقى الناس منتظرين اكتشاف موجات الجاذبية وإشعاعات هوكنج.

حاشية (9) العوالم شبه الزمانية والعوالم شبه المكانية

قدمت نظرية النسبية العامة وصفاً هندسيا للزمكان يتمثل، بصورة عامة، بالفضاء اللاإقليدي العام الذي يوصف بالفترة الزمكانية

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^{\mu} dx^{\nu}$$

حيث أن $g_{\mu\nu}$ هي مركبات ما يسمى الممتد القياسي وهي متغيرات تعتمد على هندسة الفضاء. وفي الفضاء الإقليدي الرباعي تكون الفترة الزمكانية هي

$$(ds)^2 = c^2 (dt)^2 - \left[(dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2\right]$$

وفي هذه المعادلة أمامنا ثلاث حالات:

الفضاء شبه الزماني: Time-like وفيه تكون ds أكبر من صفر. مما يعني أن هذا الفضاء سببي، تنتقل فيه الإشارات بسرعة لا تزيد على سرعة الضوء. **الفضاء شبه المكاني:** Space-like وفيه تكون مربع ds أصغر من صفر. مما يعني أن هذا الفضاء لاسببي، وفيه تنتقل الإشارات التي تنقل الأحداث بسرعة تزيد على سرعة الضوء.

الفضاء الصفري (الضوئي): Null space وفيه تكون ds صفراً. مما يعني أن هذا الفضاء سببي تنتقل فيه الإشارات بسرعة الضوء تماماً.

العالم الذي نعيش فيه هو عالم شبه زماني. فيما يكون الفضاء داخل الثقب الأسود شبه مكاني. أما عند أفق الحدث بالضبط فهو عالم صفري إذ هو مسار شعاع

الضوء. فيما أرى فإن النظريين لم يوظفوا تماماً الفضاء شبه المكاني ولم يستثمروا بعد دوره في فهم المتغيرات الفيزيائية، على الرغم من علمهم بالمتجهات الشبه الزمانية والمتجهات الشبه المكانية والمعارج شبه المكانية وشبه الزمانية على نحو رياضي. ذلك أن المتغيرات الفيزيائية نفسها يمكن أن توصف بمتجهات أو ممتدات شبه زمانية أو شبه مكانية.

الحلول الكونية

وهذه الحلول تعطينا وصفاً شاملاً لهندسة الكون (العالم) وتطوره الزمني. وهي التي يتم استخراجها من معادلات أينشتاين للمجال بموجب شروط وفرضيات خاصة تحدد نوع وكمية المادة والطاقة التي يحتويها الكون. وهذه الشروط تنعكس أساساً في صيغة ممتد الطاقة ــ الزخم الذي يكون على الطرف الأيمن من معادلات أينشتاين. وفيما يلي أشهر الحلول:

كون أينشتاين

وكان ألبرت أينشتاين أول من قام بحل معادلاته في المجال عام 1917 إذ حصل أول الأمر على كون يتمدد مع الزمن أو ينهار. لكنه ولاعتقاده أن الكون ساكن ونظرا لأن النسبية العامة تجعل الفضاء الكوني محدوداً وليس لانهائيا كما هو عليه الحال في التصور النيوتني فإن أينشتاين وجد أن مثل هذا الكون الساكن المحدود سينهار تحت تأثير جاذبية أجزائه؛ فبادر إلى تعديل معادلات المجال مضيفاً اليها ما سماه الثابت الكوني λ. وهذا الثابت يمثل مجال قوة تنافرية بين المجرات، وبه تمكن من تسكين الكون. فاصبحت معادلاته كما يلي:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \lambda g_{\mu\nu} = - \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

وعند حل هذه المعادلات وجد أن قيمة الثابت الكوني لا بد أن تكون متناسبة تناسبا طردياً مع كثافة المادة في الكون أو تناسباً عكسيا مع مربع نصف قطر الكون

$$\lambda = \frac{1}{S^2} = \frac{4\pi G \rho}{c^2}$$

لكن سرعان ما أعلن الفلكي إدوين هابل (1889–1953) أن الكون يتمدد. فكانت هذه مفاجأة لأينشتاين، لذلك وبعد أن تأكد من صحة ما توصل إليه هابل، أيقن أن معادلاته الأصلية كانت صائبة فقال قولته المشهورة: لقد كان إضافة الثابت الكوني إلى معادلاتي هو الخطأ الأكبر الذي ارتكبته في حياتي. ومنذ ذلك الحين بقي كون أينشتاين المقام على فرضية الثابت الكوني تحفة تاريخية حتى السبعينيات من القرن الماضي حيث تمت العودة إليه إثر تحليل الأشعة الكونية المايكروية وظهور الاعتقاد بوجود ثابت كوني بالفعل.

وهنا لابد من ملاحظة. ففي نماذج الكون في الفضاء الرباعي الأبعاد لا نتمكن من الحديث عن "نصف قطر" للكون، فالكون المنظور هو ليس إلا سطح ثلاثي الأبعاد في فضاء رباعي الأبعاد. وربما يكون هذا السطح سالب التحدب أو منبسطاً أو موجب التحدب كما ذكرنا آنفاً. وحينما نتحدث عن نصف قطر للكون فإنما نعني بذلك المسافة بين نقطتين، كالمسافة بين مجرتين، لذلك تسمى هذه المسافة معامل القياس Scale Factor.

ما أهمية الثابت الكوني؟

إن هذا الثابت ربما لا يكون ثابتا بالضرورة بل ربما كان هو الآخر معتمدا على الزمن وفي كل الأحوال فهو يمثل قوة تنافر كونية بعيدة المدى تعاكس قوى التجاذب بين أجزاء الكون فتمنع انهياره. ويمكن ضبط قيمة الثابت عند قدر معين يسكن الكون عنده. ولكن يمكن أن تكون قيمة الثابت صغيرة فينهار الكون ويمكن أن تكون قيمته كبيرة فيتسارع الكون في تمدده. إذن فهو عامل ضبط لسرعة تمدد الكون. اليوم يعتقد الكوزمولوجيون بناءً على تحليلاتهم للأشعة الكونية المايكروية بأن الثابت الكوني هو عند قدر يجعل الكون متسارعاً في تمدده. وهنالك أفكار كثيرة بشأن هذه المسألة وخلاف كبير حولها بين الكوزمولوجيين وفيزيائيي الجسيمات الأولية حيث يبلغ الفرق بين حساب فيزيائيي الجسيمات والكوزمولوجيين رقما كبيرا جدا يبلغ 10^{120}.

على أن من الضروري استدراك القيمة العلمية النفيسة لكون أينشتاين، ففي ضوء التفكير مجدداً بوجود الثابت الكوني يمكن العودة للتفكير بكون أينشتاين واعتبار الكون الحالي هو أطوار مختلفة من كون أينشتاين تتغير كل آن لتَغَيُّر قيمة الثابت الكوني. ولكن الأعتراض أن يقال أن هذا التصور شبه ــ السكوني Semi-static يُضيّع التأثيرات الديناميكية للجاذبية الكونية الناتجة عن الحركة. وربما يكون هذا صحيحاً لو كانت القوة الرابطة بين أجزاء الكون هي القوة الكهرمغناطيسية لكننا حتى الآن لم نكتشف أية تغيرات ديناميكية ثقالية وما يقال عن موجات الجاذبية ليس له من إثبات عملي أو تحقق أرصادي. وبالتالي ربما لا يكون للجاذبية أية تأثيرات داينميكية. وما لم تكن الجاذبية ثنائية القطب بطبعها فإن وجود

تأثيرات داينيمكية يبقى أمراً مشكوكاً فيه برأيي. وربما كان هذا هو السر في عدم الكشف عن موجات الجاذبية التي تنبأت بها النسبية العامة حتى الآن على الرغم من مرور أكثر من 80 عاماً في البحث عنها. وإذا صح ذلك يكون لكون أينشتاين قيمة عملية كبيرة.

كون دي سيتر

عُقيب نشر أينشتاين لحلول معادلاته ووضعه هيئة الكون السكوني قام وليام دي سيتر (1872–1934) بحل معادلات أينشتاين بوجود الثابت الكوني، ولكن بعدم وجود مادة، فوضع على الطرف الأيمن من معادلات أينشتاين صفراً بدلاً عن ممتد الطاقة ــ الزخم. أي أنه عالج فضاءً هندسياً محضاً. فحصل على كون يتمدد مع الزمن ومثل هذا الكون هو كيان هندسي محض فارغ من المادة وبالتالي فهو يمثل الخلاء الموجود تحت تأثير جاذبي وسمي هذا كون دي سيتر de Sitter Universe. وقد جرى إهتمام كبير بهذا الكون خلال النصف الثاني من السبعينيات استهدف فهم ما يحصل للخلاء (العدم) Vacuum بوجود المجال الجاذبي. وكان أن تمت دراسة المجالات الكمومية في هذا الفضاء من قِبَل أستاذي ستيوارت دوكر وزميلي ريموند كرتشلي لمعرفة ما يخفيه الخلاء[34]. وبالفعل تبين أن الخلاء المحدب مؤهل لتخليق الجسيمات من خلال تحول طاقة المجال الجاذبي نفسه إلى جسيمات. وبهذا تم اعتبار خلاء دي سيتر ممثلاً لحالة الخلاء قبل خلق الكون.

[34] J.S. Dowker and R. Critchley, Phys. Rev. D17, 1976.

كون فريدمان

ومن أشهر الحلول المتيسرة حلول ألكسندر فريدمان التي توصل اليها بإفتراضه أن الكون كروي التناظر متجانس ومتناسق في كل مكان وكل زمان. وهذا ما سمي لاحقاً **المبدأ الكوني** Cosmological Principle.

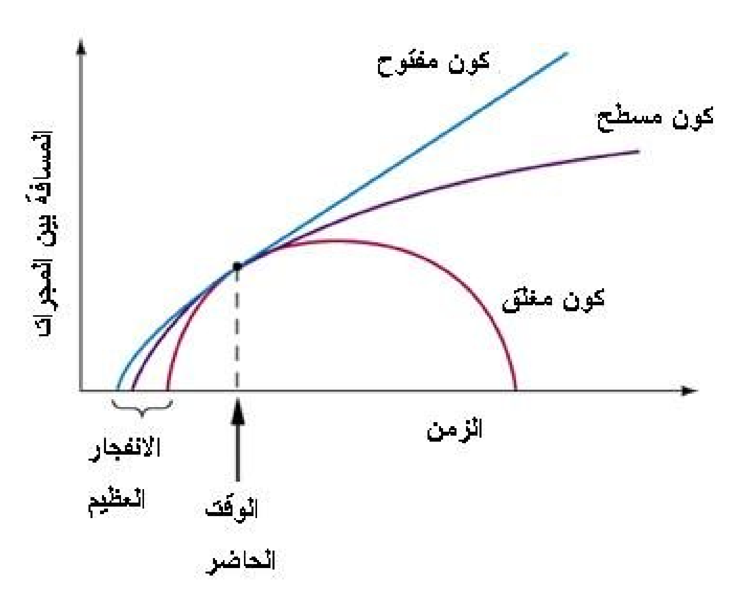
تصف حلول معادلات أينشتاين التي نشرها ألكسندر فريدمان عام 1922 الكون منطلقاً من نقطة تسمى **الفردنة** Singularity عند الزمن صفر. وهذه الفردنة ليست واضحة بذاتها، بل هي تعبير يراد منه القول أن الكون حدث فجأة إذ نشأ معه المكان وولد بحركته الزمان[35]. وبموجب هذه النماذج فإن كثافة المادة في الكون هبطت بتناسب عكسي مع مكعب "نصف قطر الكون" حتى صارت إلى ما هي عليه الآن. ويعترف الكوزمولوجيون أن حالة الكون عند الفردنة غير مفهومة تماماً إذ لا يمكن الحديث عن وجود قوانين فيزياء عندها. وفي كل الأحوال تقدم نماذج فريدمان ثلاثة حلول ممكنة تصف حالة الكون طبقا لمعادلات أينشتاين:

الحل الأول: كون يتمدد مع مرور الزمن بمعدل متسارع دوماً. ومثل هذا الكون يكون هندسياً الجزء المكاني فيه ذي تحدب سالب. ويسمى الكون المفتوح Open Universe.

---

[35] يسرف بعض المؤلفين في الحديث عن الفردنة والتفردية وكأن المكان والزمان كان لهما وجود قبل خلق الكون حيث كثيراً مايقال إن الفردنة هي نقطة ومن هذه النقطة إنطلقت كل المادة والطاقة التي يحتويها الكون اليوم. فيقال أنها كانت ذات كثافة لانهائية وغير ذلك، وهذا كلام غير دقيق. أنظر على سبيل المثال:

M. Kaku & J. Thompson, Beyond Einstein, OUP, 1997, p.11.



الشكل(18) النماذج الكونية الثلاثة بحسب فريدمان

الحل الثاني: كون مسطَّح يبدأ تمدده مُتسارعاً ثم ينتهى بعد زمن طويل إلى حالة من التوازن إذ يستمر في التمدد بسرعة نهائية ثابتة تقريباً. وهندسياً يكون الجزء المكاني لهذا الكون منبسطاً Flat Universe أي أن تحدبه صفر.

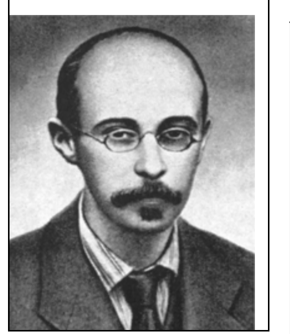
الحل الثالث: كون يبدأ تمدده متسارعاً ثم لا يلبث أن يتحول التسارع إلى تباطؤ يصل بالكون إلى قطر أعظم، ثم ينعكس التمدد إلى إنكماش ليعود الكون إلى الحالة التي كان عليها في مبتدئه. وهندسياً يكون مثل هذا الكون ذي تحدب موجب. ويسمى الكون المغلق Closed Universe.

ومن الجدير بالذكر أن روبرتسون ووالكر توصلاً بشكل مستقل في الثلاثينيات من القرن الماضي إلى وصف الزمكان الكوني بصيغة مماثلة لتلك التي وصفها به فريدمان وهذا ما يعرف بنموذج روبرتسون ــ والكر

Robertson-Walker Metric إلا أنهما لم يقوما ببناء نموذج كوني Cosmological Model كذلك الذي قدمه الروسي ألكسندر فريدمان. وفي هذا الوصف الهندسي يكون الكون الذي نشاهده كله عبارة عن سطح ثلاثي الأبعاد موجود في فضاء رباعي الأبعاد. يكون هذا السطح كروياً إذا كان الجزء المكاني للكون ذي تحدب موجب ويكون مسطحاً إذا كان الجزء المكاني مستوياً ويكون سالب التحدب إذا كان الجزء المكاني ذي تحدب سالب.

ولكن ما هو العامل الأساسي الحاكم في هذه الحلول الثلاثة لفريدمان؟

إنها كثافة المادة. فالحل الأول يحصل حين تكون كثافة المادة أقل من حد معين يسمى الكثافة الحرجة Critical Density. والحل الثاني يحصل حينما تكون كثافة المادة في الكون مساوية تماماً للكثافة الحرجة. والحل الثالث يحصل عندما تكون كثافة المادة في الكون أكبر من الكثافة الحرجة.



ألكسندر فريدمان

ولد عام 1888 في مدينة سان بيترسبرغ (بتروغراد) بروسيا. حصل على البكالوريوس عام 1910 من جامعة سان بيترسبرغ ثم حصل على الدكتوراه عام 1918 وعمل استاذا في جامعة بيرم. نشر عام 1922 بحثا عن حلول معادلات أينشتاين مبينا أنها تتضمن ثلاثة حلول أحدها يفضي إلى عالم مفتوح ذي تحدب سالب والثاني إلى عالم مسطح والثالث إلى عالم مغلق ذي تحدب موجب. كما نشر عام 1924 بحثاً آخر حول الموضوع نفسه. وتكاد تكون هذه هي نتاجاته العلمية المعروفة. تتلمذ على يديه الفيزيائي الروسي الأصل جورج جامو صاحب نظرية الانفجار العظيم. توفي فريدمان عام 1925 إثر اصابته بحمى التايفوئيد عن عمر يناهز 37 عاماً.

تبلغ الكثافة الحرجة للكون حسب التقديرات الفلكية حالياً بحدود 10^{-26} كيلوغرام/مترمكعب. ويقترب هذا من القول أن كثافة المادة في الكون تساوي تقريباً ذرة هيدروجين واحدة لكل متر مكعب. وهذا رقم يبدو للوهلة الأولى صغيراً جداً بالفعل. لكن الواقع يشير إلى أن هذه الرقم يعدل تقريباً كتلة مجرة نموذجية مقسومة على مكعب معدل المسافة بين مجرتين تقريباً. وهذا ما يجعلنا نعتقد أن الكون هو الآن في حالة الكثافة الحرجة أو قريب من الكثافة الحرجة. وفي الحقيقة هنالك صيغة مضبوطة للكثافة الحرجة تعطى بالشكل التالي

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

حيث يمثل الرمز H ثابت هابل وهو الذي يحدد مقدار سرعة تمدد الكون، وهو اليوم يُقدّر من الأرصاد الفلكية بحدود 65 كيلومتر/ثانية/ميكابارسك[36].

لقد استخدم جورج جامو وآخرين نماذج فريدمان الكوزمولوجية هذه لبناء سيناريو يفسر بموجبه تطور الكون من مراحل مبكرة في محاولة لتفسير نشأة العناصر الأساسية المكونة له (الهيدروجين والهليوم) ونشاة التكوينات المادية الكبرى فيه كالمجرات والعناقيد المجرية كما سيأتي بيانه في فصل قادم. وفي الوضع الحالي فإننا ينبغي أن نعرف أن حلول فريدمان الكوزمولوجية إنما هي صياغات مثالية لا تأخذ بنظر الاعتبار التأثيرات الكمومية وبالتالي فإنها تصلح لوصف أحوال الكون في أزمنة متأخرة نسبياً عن اللحظات الأولى للخلق.

---

[36] الميجابارسك= مليون بارسك، والبارسك يعدل قريبا من 31 مليون مليون كيلومتر.

حين نَرْكَب محور الزمن فإننا نكون قد صرنا في عالم شبه مكاني (أنظر الحاشية السابقة). وعندئذ يمكن أن ننتقل بسرع أكبر كثيراً من سرعة الضوء، بل بسرعة لا نهائية فالزمن يتجمد أو يكاد. وأقول يكاد آخذاً بنظر الاعتبار التأثيرات الكمومية التي قد تؤدي إلى بعض الحدود.

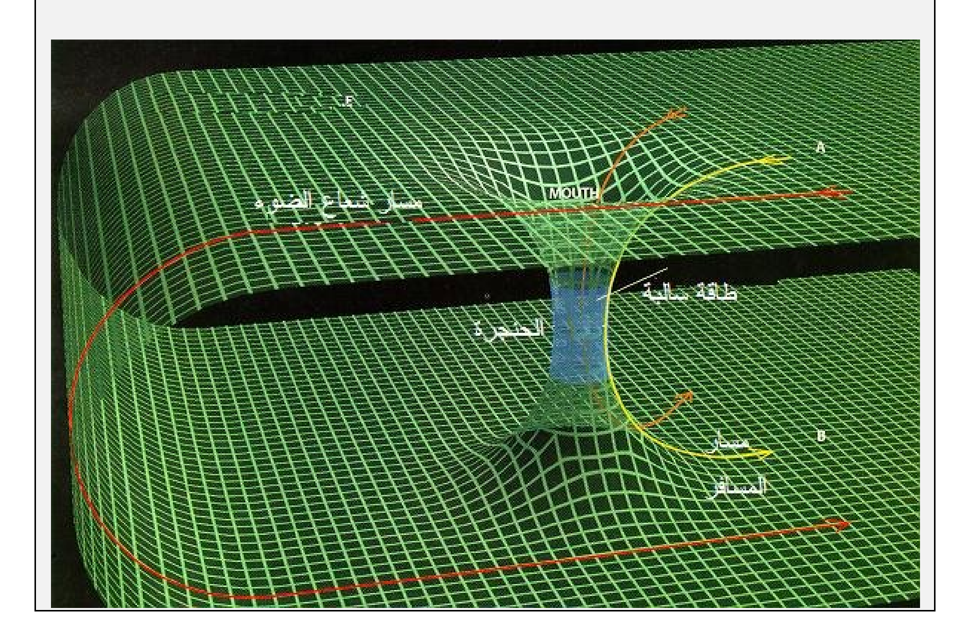
إن بعض المتغيرات العددية Scalar هي أصلاً ناتجة عن مضروب عددي Scalar Product لمتجهات شبه مكانية. ومن هذه المتجهات الزخم الرباعي، إذ يمكن أن ينتج عنه طاقة الفراغ من خلال معدل القيمة التي نحصل عليها من حساب ممتد الطاقة الزخم. بمعنى أن متجه الزخم الرباعي إن كان شبه ماني فإن الطاقة الناتجة عنه ستكون سالبة. هذه الطاقة السالبة يمكن أن تؤلف نسيجاً لجدران إنبوب ينقلنا من عالم شبه زماني خلال عالم شبه مكاني إلى عوالم شبه زمانية أخرى في لا زمن.

ومثل هذه الأنابيب تسمى ثقوب الدودة Wormholes. وثقوب الدودة في بعض الأحوال تنشأ عند لقاء فردنتين لعالمين شبه زمانيين كما في الشكل التالي[37]. وتسمى المنطقة التي تصل بين العالمين الشبه زمانيين الحنجرة، أو جسر أينشتاين ــ روزن، وتتألف من طاقة سالبة. وهذه الطاقة يمكن أن تنشأ عن تأثير كازيمير. لكن المشكلة العملية القائمة في مثل هذه الأنابيب الناقلة أنها لا تصمد طويلاً إذ لا تلبث أن توجد حتى تنكمش على نفسها تحت تأثير كازمير نفسه كما سنوضح في الفصل القادم، إذ تتجذب أجزاء الفضاء الإسطواني إلى بعضها تحت تأثير قوة كازيمير. بمعنى أن الأنبوب ذي الجدران المؤلفة من الطاقة السالبة سينكمش خلال زمن قصير جداً. لكننا من الناحية النظرية نظن أن الأمر ممكن إذ لابد من أن يكشف العلم تقنية ما في المستقبل لإسناد جدران ثقوب الدودة هذه. إذن فإن تقنية السير بسرع أكبر من الضوء لا تكون ممكنة إلا في عوالم شبه مكانية تكون سكة الحركة فيها هي مسارات الضوء (المعارج الصفرية) فهي التي تربط أجزاء الزمكان كله بعضها بالبعض الآخر. فحين نَرْكب الزمن ينطوي لنا المكان وتغدو لنا كل الأماكن ممكنة. ثم لا يكون موت ولا

---

[37] K. Thorne, *Black Holes and Time Warps*, W.W. Norton and Company, New York: 1994.

ميلاد. فلاشيء كائن ولا شيء فان. ولشعراء الصوفية من أمثال محي الدين بن عربي وجلال الدين الرومي وإبن الفارض أقوال جميلة في وصف السياحة الروحية عبر الزمان.



6

البدء والتاريخ: اللحظات الأولى لخلق الكون

لو قلنا أن الكون قبل بدايته كان عدماً بمعنى اللاشيء فهو في الحقيقة لا شيء فيزيائي، وليس لا شيء بالمطلق. وبالتأكيد يصعب على المرء أن يتصور اللاشيء. وكان المتكلمون المسلمون قد ناقشوا حقيقة العدم، فقالت المعتزلة أن العدم شئ، واستدلوا عليه بأن قالوا: إن حقيقة الشئ: المعلوم، والعدم معلوم، فهو شئ. بينما قال الأشاعرة أن العدم ليس بشئ. هذه الحالة التي يوجد عليها العدم يمكن الحديث عنها في عصرنا هذا بدلالة ما يسمى **تذبذبات الخلاء** Vacuum Fluctuations. وإذا كان بالامكان أن توجد تذبذبات خلاء للطاقة، فإنها بالتالي يمكن أن تتمظهر بشكل ما في الزمان والمكان، إذا ما توفرت ظروف معينة. أحد هذه الظروف هو أن يتوفر تحدب زمكاني موجب قد يؤدي إلى تحويل تذبذبات الخلاء إلى وجود مادي حقيقي وكثافة موجبة للطاقة في حيز ما. بمعنى أن تذبذبات الخلاء هذه ستخلق حيزها وما يتحيز فيه ما أن يتوفر التحدب الموجب. وربما كان علينا أن نتذكر أن تذبذبات الخلاء هي بصيغة أو أُخرى جسيمات أو مجالات مجازية بحسب ما تقرره نظرية المجالات الكمومية .

يسمى تمظهر طاقة الخلاء هذا **تأثير كازيمير** Casimir Effect منسوباً إلى مكتشفه الهولندي هندريك كازيمير (1909–2000) الذي وجد نظرياً عام 1948 أن قوة تجاذبية تظهر بين لوحين موصلين متعادلين عند تقريبهما إلى بعضها إلى مسافة صغيرة جداً، وهذه القوة تتناسب عكسياً مع المسافة بين اللوحين. وبالتالي يمكن القول أن هذا يعني تخليق طاقة سالبة بكثافة حجمية تتناسب عكسياً مع المرتبة الرابعة للمسافة بين اللوحين

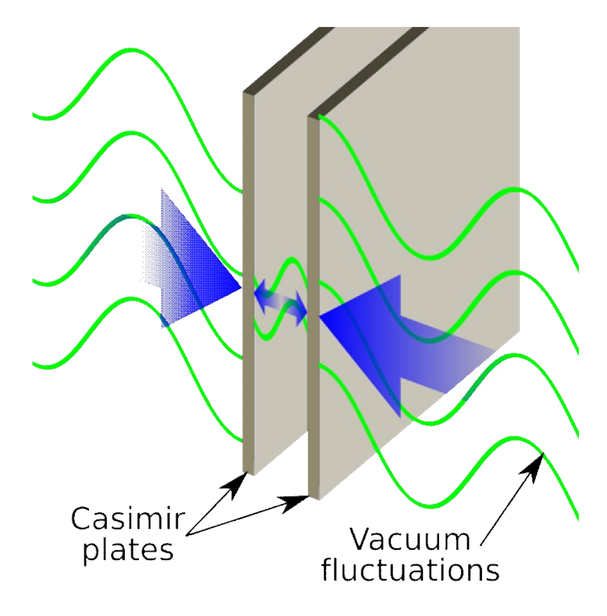
$$\rho = -\frac{\hbar c}{d^4}$$

وتسمى الطاقة المتولدة من تأثير كازيمير هذا **طاقة كازيمير** Casimir Energy. وقد تم التحقق من حصوله عملياً وتم قياسه بدقة كبيرة في مختبرات بيل بالولايات المتحدة الأمريكية[38].

ومن الجدير بالذكر أن دراسات نظرية أخرى أجريت على تأثير كازمير وتم حسابه داخل سطح كروي فتبين أن هنالك طاقة موجبة تتولد داخل الكرة المجوفة التي نصف قطرها a بكثافة طاقة تتناسب مع القوة الرابعة لنصف القطر. ومن هذا المنطلق تمت دراسة تأثير كازمير لهندسة زمكانية كروية مثل فضاء أينشتاين وفضاء روبرتسون ـــ والكر وتم حسابه فيها. وعلينا أن نتذكر أن طاقة الخلاء لا تتمظهر إلا بوجود تأثير خارجي كالتحدب الزمكاني مثلاً. ولكي نعرف كم من الطاقة يولد الخلاء فإن لنا أن نعرف أن فضاءً بحجم الكرة الأرضية يحتوي على طاقة تكفي لسد متوسط احتياجات شخص واحد من الطاقة لمدة يوم واحد. يعني هذا أن الطاقة التي يحتويها الخلاء لوحدة الحجم صغيرة جداً.

---

38 U. Mohideen and Anushree Roy, "Precision Measurement of the Casimir Force from 0.1 to 0.9 µm", *Phys. Rev. Lett.* 81, 004549 (1998).



الشكل (19) تولد طاقة كازيمير الفراغية بين لوحين موصلين متعادلين

ولكن كيف تنشأ طاقة كازيمير؟

يمكننا فهم ما يحصل عندما نضع لوحين موصلين مقابل بعضهما على أنه تغيير في بنية الفضاء الهندسية. وكما أن جسيماً محصوراً في صندوق ذي جدران صلبة يمكن أن يؤدي بالضرورة إلى نشوء نوع من الحالات الكمومية المحصورة Bound Quantum States، فإن وجود اللوحين يؤدي إلى قطع تذبذبات الخلاء (المجازية) ويحولها إلى تذبذبات حقيقية ونظراً لأن التذبذبات الخارجية أكبر من الداخلية التي بين اللوحين فإن هذا يؤدي إلى نشوء ضغط موجب من الخارج على اللوحين وينشأ ضغط سالب ما بين اللوحين وهذا ما يؤدي إلى تجاذبهما كما موضح في الشكل (19).

باستعمال لغة التناظرات نقول أن العدم يمثل **التناظر التام** Perfect Symmetry فإذا وجد تحدب كان هذا كسراً للتناظر وبالتالي تغيير لحالة

العدم إلى وجود. هكذا يمكن أن تولد الطاقة وتتخلق عنها المادة بعد ذلك. وسنعود إلى هذا الموضوع لاحقاً عند الحديث عن تخليق المادة.

يتم البحث عن طاقة كازمير من خلال حساب ما يسمى القيمة المتوقعة لممتد الزخم ـ طاقة وبالأخص حساب المركبة الزمانية $<0|T_{00}|0>$. وقد تم حساب هذه الكمية من قبل باحثين عديدين في فضاءات محدبة مختلفة ووجد أنها كمية موجبة أكبر من الصفر في حالة الفضاءات المغلقة ذات التحدب الموجب[39]. وحين نأخذ هذه الكمية ونضعها على الطرف الأيمن من معادلات أينشتاين نجد أنها تصبح مصدراً لطاقة الكون. وتفضي إلى أن الكون أول خلقه كان ذي حجم محدود ، ليس صفراً بالضرورة كما هو عليه الحال في كون فريدمان، وإن كان هذا الحجم صغيراً جداً بحدود أبعاد بلانك. فإن كانت الكمية معتمدة على الزمن مع اعتمادها على التوزيع الحراري أمكن تشكيل كون يتطور مع الزمن مستمداً طاقته من ما يتولّد تلقائيا من طاقة كازيمير، وما ينجم بعد ذلك من التفاعل الردي[40] Back-reaction لهذه الطاقة مع هندسة الفضاء[41]. وحين نأخذ بنظر الإعتبار التصحيحات الحرارية لطاقة كازيمير ونتحرى تأثير ذلك في التطور الحراري لكون سكوني مثل كون أينشتاين، والذي لا يختلف في النتائج النهائية عن كون روبرتسون ـ

---

[39] L.H. Ford, Phys. Rev. D, 1976; J. S. Dowker and R. Critchley, J. Phys. **A 9**, 535, (1976); J.S. Dowker and M.B. Altaie, Phys. Rev. **D17**, 417, (1978); M.B. Altaie and J.S. Dowker, Phys. Rev. **D18**, 3557, (1978); M.B. Altaie, Phys. Rev. **D65**, 0440328, (2003), M.B. Altaie and M. R. Setare, Phys. Rev. **D67**, 044018, (2004).

[40] يقصد بالتفاعل الردّي تعويض الطاقة في الطرف الأيمن لمعادلات آينشتاين حتى تصير هذه بثابة مصدر لطاقة الكون ثم يتم حل معادلات آينشتاين لنجد منها معدل تطور الكون وخصائص تطوره.

[41] B.L. Hu, Phys. Lett. **103B**, 331, (1981).

والكر المعتمد على الزمن[42]، نجد أن طاقة كازيمير (الفراغية) تتمحض إثر تفاعلها الردّي مع هندسة الزمكان إلى كون يتوسع باستمرار بمعدل يختلف عن المعدل الذي تقترحه نتائج أبحاث فريدمان حيث تهبط كثافة الطاقة بمعدل $\frac{1}{a^2}$ وليس $\frac{1}{a^3}$ مما يعني حصول تخليق للمادة/الطاقة بمعدل يتناسب طرديا مع نصف قطر الكون. لذلك وبموجب هذا النموذج يمكن تصور أن الكون ولد بطاقة كازميرية نتجت عن تحدب زمكاني ابتدائي كبير ثم تفاعلت هذه الطاقة الكازميرية مع هندسة الزمكان وجعلت الكون يتوسع ولا أقول يتمدد وحسب[43]. ومن الجدير بالذكر أن حسابات التفاعل الردي هذه تشير إلى أن درجة حرارة الكون تزايدت خلال المرحلة الكازميرية حتى وصلت إلى قمة عظمى عند 10^{32} كلفن ثم صارت تهبط بنمط بلانكي حتى بلغت درجة حرارة الخلفية الكونية المايكروية الحالية. وقد تم تفسير هبوط الحرارة بعد بلوغها القمة عند 10^{32} كلفن بالقول بحصول تكاثف للطاقة وفق ظاهرة **تكاثف بوزــ أينشتاين**[44] Bose-Einstein Condensation . وكنا في أبحاث سابقة قد استنتجنا أن **كثيف بوزــ أينشتاين** BE Condensate يمكن أن يكون مصدراً لتمدد كوني **تضخمي**[45] Inflation . وبهذا تكون مرحلة التضخم الكوني تالية للمرحلة الكازيميرية، وربما سبقت مرحلة توليد الجسيمات الكتلوية Massive Particles الأولى إذ وجد أن كثيف بوزــ أينشتاين يمكن

[42] G. Kennedy, J. Phys. A: Math. Gen. 11, L77, (1978).
[43] M.B. Altaie, Phys. Rev. D65, 0440328, (2003).
[44] M.B. Altaie and E. Malkawi, J. Phys. A: Math. Gen. **33**, 7093–7102, (2000).
[45] L. Parker and Y. Zhang, Phys. Rev. **D44**, 2421, (1991); Phys. Rev. D47, 2483, (1993).

أن يؤدي إلى **كسر التناظر**[46] Symmetry Breaking. على أية حال فإن بعض الكوزمولوجيين النظريين، وبرغم عدم إمتلاكهم لرؤية واضحة بموجب النمط المنهجي لفريدمان لكيفية تحول الكون من العدم إلى الوجود، إلا أنهم قد يتحفظون على الإقتراحات الواردة أعلاه. ربما لشعورهم أن دراسة حالة الكون قرب الحدود البلانكية تقتضي نظرية شاملة توحد بين الجاذبية والمجالات الكمومية بمعنى أننا بحاجة إلى نظرية لتكميم المجال الجاذبي قبل الولوج إلى هذه المناطق المبكرة جداً من عمر الكون. ولطالما يردد الكوزمولوجيون النظريون هذا المطلب دون وجود دليل على الحاجة الفعلية بالضرورة لتكميم الجاذبية. على أنه وفي الوقت الذي ليس للمرء أن ينفي هذه الحاجة، إلا من الجائز القول أن توفر سيناريو يأخذ بتكميم الجاذبية ربما لن يضيف شيئاً جوهرياً للحالة التي نتكلم عنها بل إن الحاجة الحقيقية لتكميم الجاذبية تظهر حين نتعامل مع كمية فعل من مستوى $\hbar^2$ وأقل عندها سنحتاج إلى تكميم الزمان والمكان بالتأكيد. ما يدعم هذا التخمين أن نظرية الجاذبية بحسب النسبية العامة هي نظرية لاخطية على حين أن نظرية الكموم هي نظرية خطية. وتوحيد الجاذبية مع الكموم يقتضي تغيير نظرية الكموم على الأرجح لتصبح لاخطية. وقد أشارت بعض الأبحاث مؤخراً إلى عدم وجود ضرورة لتكميم المجال الجاذبي في حدود الأبعاد البلانكية. هذا يعني أن تكميم الجاذبية ربما يفيدنا في تفهم أعمق للمرحلة الكازيميرية في ابعاد تحت البلانكية، دون أن يغير كثيراً من نتائج الأبحاث آنفة الذكر.

---

[46] H.E. Haber and H. A. Weldon, Phys. Rev. Lett. 46, 1497 (1981); Phys. Rev. D25, 502, (1982).

بموجب التصور السالف هل يمكن أن تتولد جسيمات هيكز من حالة كثيف بوزـ أينشتاين؟ أم أنها هي ذاتها ليست إلا كثيف بوزـ أينشتاين وما تحللها إلا تبخر لهذا الكثيف؟ إبتداءً يمكن القول أن الحالتين ممكنة لكن علينا أن نفحص بعمق أكثر ما الذي يميز حالة الكثيف عن حالة الهكزات نفسها؟ وهذا يتطلب النظر في الصياغة النظرية لتولد الهكزات وتحللها.

يمكن القول أن المرحلة الكازميرية للكون هي مرحلة ما قبل الانفجار العظيم وهنالك دراسات أوسع للمراحل البدائية للكون فيما بعد المرحلة الكازيميرية المبكرة جدا قرب زمن بلانك. وفي هذه المراحل التالية تحصل تحولات طورية Phase Transitions عديدة، يتقلب فيها الكون أطواراً حتى تتخلق الجسيمات الأولى. والحق أن هذه الدراسات كلها تقع في باب التخمين Speculations حيث لا يوجد حصر دقيق لما يمكن أن يتم التأكد منه من خلال التجربة. وفيما بعد ذلك يمر الكون بمرحلة من التضخم السريع بحسب تأويلات نظريات التضخم يتم خلالها تحقيق انبساط الكون ومضاعفة اللاتجانسات الصغيرة في توزيع المادة والطاقة في الكون حتى يصبح ممكنا أن تنشأ عن هذه اللاتجانسات ما نراه اليوم من التكوينات الكبرى كالمجرات.

توسع الكون

مع بداية القرن العشرين كان الفلكيون يتصورون أن الكون يتألف من جزيرة نجومية كبيرة جداً تعرف بإسم درب التبانة أو الطريق اللبني وهي تظهر للناظر إلى السماء في ليلة حالكة كتجمع ضبابي يمتد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي لكنهم بعد بضع سنوات تمكنوا من تشخيص سحب سديمية ظنوا أو الأمر أنها جزء من المجرة لكنهم ما لبثوا أن اكتشفوا أنها ليست جزءاً من المجرة بل تقع خارجها. وعندا وجدوا أن هذه السحب تحتوي على نجوم أدركوا أنها يمكن أن تكون مجرات أخرى تقع خارج مجرتنا. وكانت هذه المجرات حتى ذلك الحين تسمى سدم حلزونية Spiral Nebulae وكان العرب يسمونها أو يسمون بعضها، مما يرونه بالعين، (لطخات سحابية). فقد أشار اليها عبدالرحمن الصوفي في كتاب صور الكواكب الثمانية والأربعين[47] كما أشار اليها أبو الريحان البيروني في كتاب القانون المسعودي[48] وكتاب التفهيم لأوائل صناعة التنجيم[49]. وكان المعتقد سابقاً أن هذه السدم هي جزء من المجرة التي ننتمي اليها. لكن الفلكيين عرفوا مع بداية القرن العشرين أن هذه السدم الحلزونية هي مجرات أخرى تقع خارج مجرتنا. وفي العشرينيات من القرن الماضي قام لويل سالفر وإدوين هابل في الولايات المتحدة برصد المجرات التي تم تشخيصها والتي لم يكن عددها يتجاوز عشرين مجرة

---

[47] عبدالرحمن الصوفي، صور الكواكب الثمانية والأربعين، دار الآفاق الجديدة، بيروت 1981.

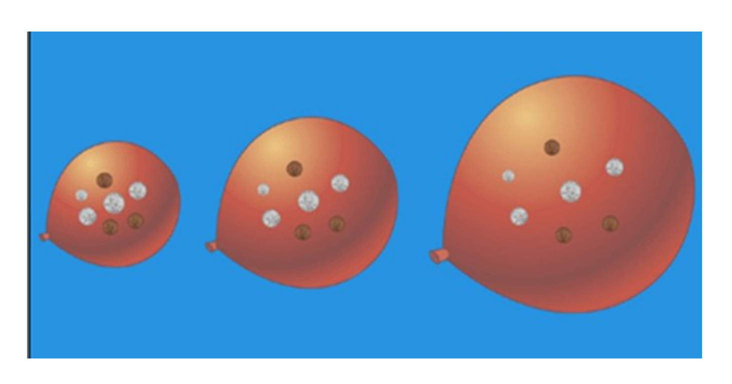
[48] أبو الريحان البيروني، القانون المسعودي، غير محقق، نشر دائرة المعارف العثمانية، حيدر آباد.

[49] أبو الريحان البيروني، كتاب التفهيم لأوائل صناعة التنجيم، تحقيق: محمد باسل الطائي ومحمد نايف الدليمي وندى نايف نجم، عالم الكتب الحديث، إربد 2004.

سميت لاحقاً الزمرة المحلية Local Group. ومن خلال تحليل أطياف الضوء الواصلة الينا من هذه المجرات وجد هذا الرجلان أن هنالك إنحياز في خطوط الطيف مما يدل على حركة موضعية لهذه المجرات بحسب ظاهرة دوبلر. وقد وجدا أن معظم المجرات لها إنحياز طيفي نحو الجهة الحمراء من الطيف مما دل على أنها تبتعد عنا. وعند حساب الإنحياز الطيفي ومقارنته مع البعد إكتشف هابل قانوناً يقول أن سرعة ابتعاد المجرة عنا تتناسب طردياً مع بعدها عنا.

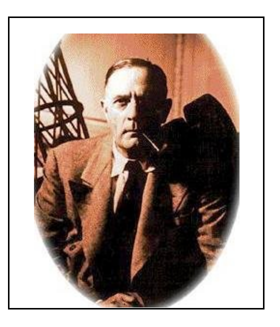
$$\mathrm{v} = Hr$$

حيث أن H هو مقدار ثابت يحدد معدل ابتعاد المجرات عن بعضها.



الشكل (20) صورة تقريبية لحالة توسع الكون مع الزمن

وبمزيد من الرصد وبزيادة عدد المجرات المرصودة تأكد قانون هابل هذا. وهذا ما دعى الفلكيين إلى الإعتقاد بأن هذه المجرات ربما كانت مجتمعة على بعضها في وقت ما ثم انبثقت متباعدة عن بعضها.



إدوين هابل

فلكي أمريكي ولد عام 1889 في ميزوري. درس الرياضيات والفلك في جامعة شيكاغو وحصل على البكالوريوس عام 1910. كما درس الفقه الديني في جامعة أكسفرد ببريطانيا بعض الوقت إذ كان حصل على منحة دراسية بهذا الخصوص. وهنالك حصل على شهادة الماجستير. وبعد عودته إلى الولايات المتحدة درس الفلك في جامعة انديانا لكنه التحق بعض الوقت بالجيش الأمريكي وخدم أثناء الحرب العالمية الأولى ثم عا لإستكمال دراته التي كانت حول السدم الخافتة، وحصل على شهادة الدكتوراه عام 1917. عمل في مرصد قمة جبل ولسون إذ حالفه الحظ وقتها بتنصيب التلسكوب المتقدم العاكس من قياس 100 بوصة. وهنالك عمل بجد ونشاط على مدى أكثر من عشر سنوات لمراقبة حركة المجرات. إكتشف قانون المعروف بإسمه والذي يحدد سرعة توسع الكون مستفيدا من أرصاد المجرات والتي كان قد رصدها آخرين قبله أيضا واكتشفوا وجود زحزحة حمراء وزرقاء في أطيافها. توفي هابل إثر جلطة دماغية عام 1953.

وهذا ما دعى القس الهولندي لاميتر Lameter في الثلاثينيات من القرن الماضي أن يضع نموذجاً كونياً جعل الكون فيه ينطلق مما سماه البيضة الكونية متوسعاً بشكل سريع حتى وصل إلى ما هو عليه الآن. لكن لاميتر لم يقدم الكثير من التفاصيل بما يخص المحتوى المادي في هذا النموذج. بهذه المناسبة أود أن أشير إلى أن قانون هابل يؤشر حصول تمدد تضخمي للكون فضلاً عن كونه منطلقاً من حيز غير صفري. فإننا إذا أجرينا التكامل على قانون هابل نجد أن

$$r(t) = r_0 e^{Ht}$$

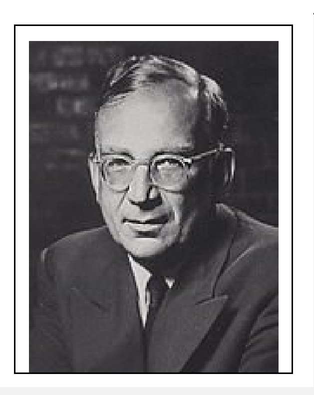
حيث أن r_0 هي معدل المسافة بين مجرتين عند الزمن صفر.

سينا ريو جامو: الإنفجار العظيم

تساءل جورج جامو الفيزيائي الروسي الأصل والذي هاجر إلى الولايات المتحدة الأمريكية مطلع الثلاثينيات من القرن الماضي: لماذا توجد العناصر الكيميائية في الكون بهذ النسب الطبيعية التي نجدها فيها عليها. طبعاً يمكن للمرء أن يقول لقد أوجدها الله هكذا. لكن هذه الإجابة لن تشفي غليل الفيزيائي ولن تروي عطشه إلى المعرفة. ومن المعروف أن الكون يشتمل على 92 عنصراً تبدأ بالهيدروجين الذي تتألف ذرته من بروتون واحد وألكترون واحد يليه عنصر الهليوم الذي تتألف نواة ذرته من بروتونين ونيوترونين يُحيط بها ألكترونين ثم عنصر اللثيوم ... وهكذا وصولاً إلى اليورانيوم الذي تتألف نواة ذرته من 92 بروتوناً و 146 نيوتروناً تحيط بها 92 ألكترون. ولكل عنصر من هذه العناصر نظائر لها نفس الخواص الكيميائية التي للعنصر الأساس لكن نواها تحتوي على عدد أكبر من النيوترونات. ومن المعروف أيضاً أن الهيدروجين يمثل النسبة الأعظم من العناصر في الكون إذ تبلغ نسبته الطبيعية بحدود 76% يليه الهليوم بنسبة 23% تقريباً فيما تشكل العناصر الأخرى أقل من 1% من إجمالي المادة الموجودة في الكون.

تساءل جامو عن ما يمكن أن يكون السبب في وجود العناصر بهذه النسب فلجأ إلى نظرية الجسيمات الأولية، كما كانت معروفة في نهاية الأربعينيات من القرن الماضي، وظن ابتداءً أن جميع العناصر تكونت مع بداية نشوء الكون وخلال مراحل تطوره. لذلك وضع جامو سلسلة زمنية مبتدءً مع حالة الكون البدائي مؤلفاً من الجسيمات الأولية المعروفة:

البروتونات والنيوترونات والألكترونات والميونات وأضدادها بنسب متساوية وهي في حالة توازن حراري عند درجة حرارية عالية جداً. في مثل هذه الحالة يمكن للجسيمات وأضدادها أن تتولد من الطاقة المتوفرة عبر ظاهرة تخليق الأزواج Pair Creation لكنها سرعان ما تتحول ثانية إلى طاقة عبر عملية الفناء Pair Annihilation. ثم نظر إلى الكون وهو يتمدد وتهبط درجة حرارته. قام جامو بتوظيف كل ما تيسر لديه من علم في الجسيمات الأولية وفي نظرية النسبية وفي ميكانيك الكموم والثرموداينميكس والميكانيك الإحصائي.



جورج جامو

ولد في أوديسا عام 1904 لأبوين أوكرانيين. درس على ألكسندر فريدمان في البداية وعمل في جامعة (لينين غراد) خلال الفترة 1923-1929 ثم انتقل الى جوتنجن بألمانيا ومنها الى جامعة كوبنهاجن. كما عمل جامو بعض الوقت مع أرنست رذرفورد في مختبر كافندش في كمبردج بإنكلترة. وفي عام 1934 انتقل جامو الى الولايات المتحدة الأمريكية. يعتبر جامو المؤسس لسسيناريو نظرية الانفجار العظيم إذ عمل مع الفر وبيتا في بناء هذه النظرية لتفسير الوفرة الطبيعية للعناصر الكيمياوية. وكان التنبؤ التاريخي العظيم لهذه النظرية وجود الخلفية الكونية المايكروية التي اكتشفها بنزياس وولسن عام 1965. ومنذ ذلك الحين تزايد الاهتمام بعلم الكونيات وبنظرية الانفجار العظيم مما أحدث قفزة نوعية في هذه الأبحاث والدراسات. لكن جامو لم يعش طويلاً ليرى الطفرة النوعية التي أثارتها نظريته فتوفي عام 1968 في كندا.

قبل أن نعرض سيناريو جامو لا بد من التذكير بجملة من الحقائق الفيزيائية:

1. تقرر نظرية النسبية العامة وبحسب نماذج فريدمان وعلم الثرموداينميكس أن درجة حرارة الكون (مقاسة بالكالفن) تهبط مع الزمن (مقاساً بالثواني) وفق المعادلة التالية:

2. $$T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}}$$

3. يقرر ميكانيك الكموم ونظرية المجال الكمومي أنه إذا ما توفر فوتون واحد بطاقة قدرها $E \geq 2mc^2$ فإن هذا الفوتون يمكن أن يتحول إلى جسيم كتلته m وجسيم مضاد بنفس الكتلة. لكن حين يلتقي الجسيمان مرة ثانية فإنها يتحولان ليس إلى فوتون واحد بل إلى فوتونين غير متساويين في الطاقة. لذلك إذا ما توفر الحد الأدنى من الطاقة فإن توليد زوج من الجسيمات يكون ممكناً لكن إعادة توليدها من النواتج يصبح غير ممكن لعدم كفاية الطاقة التي يحملها أي من الفوتونين.

4. إن جميع قوانين الانحفاظ الفيزيائية قائمة في جميع التحولات الفيزيائية التي تحصل بما في ذلك حفظ الطاقة والزخم الخطي والشحنة وبقية الأعداد الكمية التي تصف الجسيمات.

وفيما يلي سرد وصفي موجز لسيناريو جامو[50]:

لما كانت كثافة المادة في المراحل الأولى لخلق الكون عالية جداً، فإن زحام الكون كان يعرقل حتى حركة الفوتونات نفسها فضلاً عن حركة الجسيمات الأخرى. لذلك فقد كانت هنالك اصطدامات مستمرة بين هذه الجسيمات مع الفوتونات. أي عمليات تبادل مستمرة للطاقة فيما بينها،

[50] S. Weinberg, The First Three Minutes, Basic Books, 1994.

والذي يقرر اتجاه تبادل الطاقة هو الجانب الذي يملك القدر الأكبر منها. فإن كان الفوتون المتصادم مع الإلكترون يمتلك طاقة أكبر من الطاقة الحركية للإلكترون فإنه يعطيه قدراً من الطاقة، وإذا كانت طاقته أقل اكتسب الفوتون طاقة من الإلكترون، وأدى ذلك إلى تباطؤ حركة الألكترون. لذا فقد كان من المحتم أن يصل الكون إلى توازن حراري بين المادة والإشعاع. في هذه الحالة يكون عدد الجسيمات التي تقلّ درجة حرارتها المكافئة عن الحرارة السائدة في الكون مساوياً لعدد الفوتونات، أي إنه في المرحلة التي كانت درجة حرارة الكون بحدود (12) تريليون درجة كان هنالك نيوترون واحد وبرتون واحد وإلكترون واحد لكل فوتون. وعندما هبطت درجة الحرارة إلى (10) تريليون درجة انتهت مرحلة خلق أزواج النيوترونات وأزواج البروتونات، بينما استمرت عمليات اصطدام النيوترون وضديده والبروتون وضديده مع بعضها البعض متحولة إلى إشعاع، لكن درجة حرارة الكون لم تكن كافية لإعادة توليد هذه الجسيمات.

بعد مرور (0.01) ثانية على خلق الكون هبطت درجة الحرارة إلى (100) مليار درجة، ولم تكن هذه الحرارة كافية لتوليد البروتونات والنيوترونات، إلا أنها كانت كافية لتوليد الإلكترونات وضديداتها البوزيترونات، حيث كانت هذه الجسيمات تخلق وتنتشر بسرعة عالية في جميع الاتجاهات، ثم تصطدم ببعضها وتولد الإشعاعات وهكذا.

يمكن القول إن الكون في حالة كهذه كان أشبه بحساء كثيف جداً، وفي حالة غليان عنيف، وفي هذه المرحلة كانت النيوترونات تتحول إلى بروتونات وإلكترونات كلما اصطدمت مع النيوترينو. وعندما يصطدم

ضديد النيوترينو ذي الطاقة العالية مع البروتون، فإنه ينتج نيوترون وبوزيترون وعند اصطدام البروتون مع الإلكترون ينتج نيوترون مع نيوترينو وعند اصطدام النيوترون مع البوزيترون ينتج بروتون مع نيوترينو مضادّ وهكذا. كانت كل هذه التفاعلات ممكنة ومع ذلك يبقى عدد النيوترونات والبروتونات متوازناً.

بعد مرور (0.1) ثانية على خلق الكون هبطت درجة الحرارة إلى (30) مليار درجة. وهبطت كثافة الجسيمات أيضاً. وخلال ذلك أصبح من غير الممكن أن يتحول البروتون إلى نيوترون، بل يكون الانتقال والتحول في اتجاه واحد فقط، وهو تحول النيوترونات إلى بروتونات وهكذا انخفض عدد النيوترونات، بينما ازداد عدد البروتونات فأصبحت النسبة هي:

62% بروتونات.

38% نيوترونات.

وكلما توسع الكون هبطت درجة حرارته وقلت كثافته. وبعد مرور ثانية واحدة على خلق الكون هبطت درجة الحرارة إلى (10) مليار درجة وقلت الكثافة إلى حدّ أصبح معه للنيوترينونات وضديداتها حريـــة الحركة، إذ لا توجد أمامها عوائق وموانع كثيرة. كما قلّت نسبة تصادم النيوترونات مع بعضها، وبالتالي هبط توليد الإلكترونات والبوزيترونات. ولهذا السبب أيضاً اضمحلّ تصادم النيوترونات مع البوزيترونات لخلق البروتونات. وفي ختام هذه المرحلة كانت النسبة بين البروتونات والنيوترونات هي: 76% بروتونات و 24% نيوترونات.

عند هذه اللحظة كان قدر الكون ومصيره قد تحدد، وتكونت المواد الخام اللازمة لبناء المادة الأساسية في الكون. لقد تمّ ضبط النسب الأساسية، وسارت التفاعلات بين الجسيمات بقوىً محسوبة ومقدرة تقديراً دقيقاً جداً، ومضى كل شيء بسرعة خاطفة جداً ففي الأجزاء القليلة جداً من الثانية الأولى كما رأينا تمّ تحديد كل المقادير اللازمة للتطور المادي اللاحق بما في ذلك وجود الحياة على الأرض.

بعد مرور (14) ثانية هبطت درجة الحرارة إلى (3) مليارات درجة أي إنها أصبحت دون درجة الحرارة الملائمة لخلق الإلكترونات. وبذلك أُسدل الستار تماماً على عملية توليد أزواج الإلكترونات والبوزيترونات. ومع أن هذه الحرارة كافية لتكوين نواة ذرة الهليوم المستقرة، إلا أن التوسع السريع للكون حال دون ذلك، فقد كانت هنالك سلسلة من التفاعلات التي يجب إكمالها قبل الوصول إلى تكوين هذه النواة. إلا أننا نصل إلى الظروف المناسبة لتشكيل نواة الذرة عند أواخر الدقيقة الثالثة، وهي حرارة مليار درجة تقريباً، فعند هذه الدرجة الحرارية تبدأ نواة التريتيوم ونواة الهليوم (3) بالتشكل. أمّا نواة الديوتيريوم فإنها تنحل سريعاً. خلال هذه المرحلة يتحول قسم من النيوترونات الحرة إلى بروتونات عن طريق التحلل، إذ من المعروف أن النيوترون إذا ترك لحاله حراً فإنه يتحلل إلى بروتون وإلكترون وضديد النيوترينو. ومثل هذه التحولات ممكنة ضمن قانون احتمالي يقرر أن 10% من النيوترونات تتحول إلى بروتونات في كل (100) ثانية. ولهذا تزداد نسبة البروتونات وتقل نسبة النيوترونات في المادة الكونية لتصبح 86% بروتونات و 14% نيوترونات.

بعد المزيد من الهبوط في درجة الحرارة تبدأ نوى الديوتيريوم بالتكوين، وتمر هذه النوى من مرحلة التريتيوم، أو من مرحلة الهليوم (3) لتكوين نوى الهليوم (4) المستقرة. وهنا تبدأ جميع النيوترونات بالاتحاد مع البروتونات مؤلفة نوى الهليوم. وفي هذه الأثناء تبلغ درجة الحرارة (900) مليون درجة. أما نسبة البروتونات والنيوترونات فتكون كما يلي: 87% بروتونات و 13% نيوترونات.

تستمر هذه التفاعلات حتى الدقيقة الخامسة والثلاثين. وبينما تأخذ النيوترونات أماكنها في نوى ذرات الهليوم فإن البروتونات الفائضة تبقى كنوى ذرات الهيدروجين دون أن تتشكل أي من الذرات الكاملة، إذ لا زالت درجة الحرارة عالية جداً لا تسمح للإلكترونات بالارتباط مع النوى. وفي هذه الأثناء تستمر عمليات فناء الإلكترونات والبوزيترونات. بعدئذٍ يستمر الكون في الاتساع سنوات وسنوات دون أن يحدث ما يستحق الذكر، كل ما هنالك أن درجة الحرارة تنخفض، ولكن ما إن يصل الكون إلى عمر 300 ألف سنة حتى تكون حرارته قد وصلت إلى (5000) درجة فقط، وعندئذٍ تبدأ نوى الذرات باصطياد الإلكترونات لتتكون الذرات وتولد العناصر، وفي هذه الحالة يتم تكوين غازات الهيدروجين والهليوم. وبذلك يفسح المجال أمام الفوتونات بالحركة الحرّة دون أن تصطدم بالإلكترونات. وتدعى هذه الفوتونات الشاردة "إشعاعات التشتت الأخير" Last Scattering Radiation. ويوصف الكون عندها بأنه "سطح التشتت الأخير" Last Scattering Surface.

إن الحسابات النظرية التي قام عليها هذا السيناريو الطويل لقصة تطور الكون منذ الأجزاء الضئيلة من الثانية الأولى، مروراً بتكوين

الذرات وتوليد العناصر الطبيعية هي حسابات تفصيلية معقدة، وتتوقع هذه الحسابات بالنتيجة أن تكون درجة حرارة الكون الحالية بحدود (5) درجة كلفن أي (268) درجة مئوية تحت الصفر، وكانت هذه الحسابات قد أجريت في نهاية الأربعينات وبداية الخمسينيات من القرن الماضي .

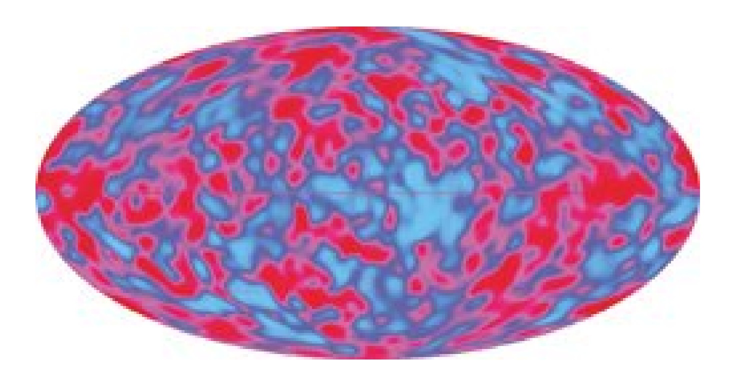
الخلفية الإشعاعية المايكروية الكونية

رغم أن السيناريو الذي رسمه جورج جامو وجماعته كان مدهشاً حقاً في تفسير وفرة العناصر الخفيفة كالهيدروجين والهليوم، إلاّ أن أسئلة برزت بشأن وفرة العناصر الثقيلة وتعيين نسبتها الطبيعية في الكون. فهذه العناصر قد تبين أنها تتخلق في باطن النجوم الكبيرة، لذلك لم تأخذ نظرية الانفجار العظيم حقها من الاهتمام في الأوساط العلمية خاصة وأنها تقدم سيناريو لنشأة الكون يبدو وكأنه قصة من نسج الخيال، فمن يدري ما كان يحصل في الكون قبل خمسة عشر مليار سنة؟ وكيف لنا أن نعتمد على معلوماتنا الفيزيائية اليوم ونجعلها معياراً لأحداث حصلت في ذلك الماضي السحيق؟ لم تأخذ نظرية جامو التي سماها فرد هويل نظرية الانفجار العظيم حظها من الإهتمام حتى جاء العام 1965. ففي هذا العام حصل واحد من أهم الاكتشافات العلمية على مدى تاريخ العالم حيث اكتشف آرنو بنزياس وروبرت ولسن وجود إشعاعات كهرومغناطيسية قادمة من مصدر كوني تقع عند الطول الموجي (7) سنتيمتر. وهذا الطول الموجي يقع في نطاق الموجات المايكروية في سلم الأطوال الموجية للأشعة الكهرمغناطيسية. سميت هذه إشعاعات الخلفية الكونية المايكروية Cosmic Microwave Background Radiation.

لقد كان هذا الاكتشاف مفاجأة كبيرة في الأوساط العلمية، إذ حصل دون قصد مسبق. فبينما كان المهندسان بنزياس وولسن يعملان في مختبرات شركة بل للاتصالات بالولايات المتحدة الأمريكية في مشروع دراسة تأثيرات التشويشات التي تصدرها نجوم السماء على الطيف الكهرومغناطيسي لاحظا وجود ضوضاء مستديمة ذات مستوى ثابت تأتي من مصدر مجهول وبعد محاولات عديدة لمعرفة المصدر تبين أن الأشعة التي يستلمونها تصل إلى الأرض من جميع أنحاء السماء، وبنفس الشدة مما يؤشر تناسقها التام. وعند حساب درجة الحرارة المكافئة التي تولد هذه الإشعاعات تبين أنها بحدود (3) درجة كلفن أي (270) درجة مئوية تحت الصفر.

لم يكن بنزياس وولسن يعرفان شيئاً عن وجود أي سبب كوني لهذه الإشعاعات، لذلك استفسرا من خبراء الفيزياء الفلكية هنا وهناك، فدلوهما على البروفسور روبرت ديكي من جامعة برنستون حيث كان يقوم مع مجموعة من الباحثين بتحري وجود الخلفية المايكروية الكونية التي كانت نظرية جامو وزملائه قد تنبأت بها. فقاما بالاتصال هاتفياً بالفيزيائي روبرت دكي Robert Dicke (1916–1997) في برنستون، وبعد وصفهما للحالة وما وجدوه أخبرهما دكي بأنه يعمل منذ مدة طويلة على تهيئة منظومة كاملة لقياس مثل هذه الإشعاعات. ونزل الخبر على روبرت دكي وجماعته نزول الصاعقة فمنذ سنين طويلة وهم يحضِّرون المعدات ويبنون الأجهزة لقياس هذه الأمواج ليتحققوا من حلم بعيد المنال، وها هما مهندسان مجهولان يكتشفان ما يصبو اليه فريق دكي وكان هذا الخبر مفاجأة لهما لذلك قاما بعدئذٍ بالاتفاق على قيام بنزياس وولسن بنشر

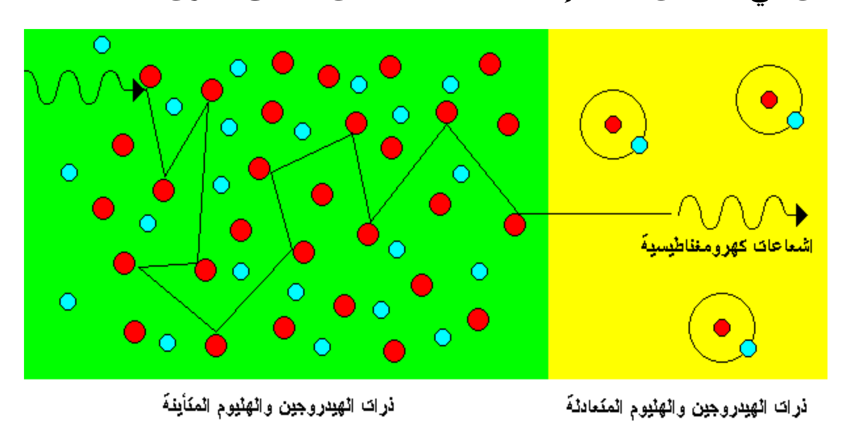
اكتشافهم في ورقــة في مجلة Astrophysical Journal بينما يقوم دكي وجماعته بنشر ورقة أخرى تفسر المضامين الكونية لهذا الاكتشاف العظيم. بعد ذلك نال بنزياس وولسن جائزة نوبل في الفيزياء عام 1969 على ذلك الاكتشاف الرائع، بينما بقي دكي وجماعته يضرسون الحصرم. في الحقيقة لقد اكتشف بنزياس وولسن تلك الموجات الكهرمغناطيسية التي شهدت الاستطارة الأخيرة عن الإلكترونات عندما كانت درجة حرارة الكون بحدود (5000) درجة كلفن، هذه الفوتونات خضعت للتبريد الكوني العام نتيجة تمدد الكون منذ ذلك الحين حتى وصلت درجة الحرارة إلى المقدار الحالي الذي تقيسه أرصاد الفلكيين، وهو بحدود (3) درجة كلفن فقط. لذلك تسمى هذه الإشعاعات في بعض الأدبيات العلمية (بصمة الانفجار العظيم Signature of the big bang).



الشكل (21) التوزيع الزاوي للخلفية المايكروية الكونية بحسب نتائج كوب

بعد إعادة تدقيق الإرصادات السابقة ثمّ التأكد من تجانس الأشعة الخلفية الكونية وتناسقها مما أكد مصدرها الكوني وتم التأكد من مقدارها الدقيق. دعيت هذه الإشعاعات الخلفية الإشعاعية المايكروية الكونية

Cosmic Microwave Background Radiation وقد وجد بالقياس الدقيق أنها تكافئ درجة حرارة قدرها 2.74 درجة كلفن. لقد أوضحت الدراسات المعمقة التي جرت لاحقاً على خواصّ هذه الإشعاعات أنها تحتوي على معلومات ثمينة جداً عن مراحل خلق الكون وتكوين المجرات، وتجري حالياً دراسات أكثر عمقاً ودقة وسيتم حسم الكثير من الخلافات بعد إطلاق المسبار الفضائي الخاص بالتقاط هذه الإشعاعات، والمسمى Planck الذي يتخصص في اقتناص هذه الإشعاعات القادمة من أعماق الكون.



الشكل (22) توضيح لكيفية تحول الكون من الاشفافية إلى الشفافية

ذكرنا أن الخلفية الكونية المايكروية تؤلف بصمة تحتوي آثاراً مهمة جداً عن المراحل الأولى لنشأة الكون. وكان من اولى النتائج التي تحصلت من خلال الأرصاد التي أجراها القمر الصناعي COBE الذي أطلقته وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) عام 1989 أن هذه الخلفية متجانسة Homogeneous على مدى واسع جداً ومتسقة Isotropic بمدى زاوي كبير حيث تبلغ نسبة الفرق في درجات الحرارة لمدى زاوي قدره 10 درجات

بحدود $\Delta T / T = 10^{-5}$ مما يعني أن الكون قد بلغ حالة من التجانس والاتساق الكبير في مراحله المبكرة. وبتحليل النتائج وفق نموذج فريدمان يتبين أن الكون مسطح مكانياً من الناحية الهندسية. مما يعني وفق نماذج فريدمان التقليدية أنه سوف يستمر بالتمدد إلى ما لا نهاية له.

لكن هذا ليس نهاية المطاف وذلك لأن الأرصاد والتحليلات تشير إلى وجود ثابت كوني يساهم بشكل كبير في بنية الكون. مما يعني أن نماذج فريدمان الأصلية بحاجة إلى إعادة نظر تأخذ بالإعتبار الثابت الكوني. وهذا ما قام بدراسته أسامة الزعبي أحد تلامذتي[51] إذ وجدنا أن حل معادلات فريدمان بوجود ثابت كوني يتم اختياره بعناية يمكن أن يفضي إلى كون لا تفردي ولا يعاني من مشكلات نماذج فريدمان المنوه عنها في البند التالي من هذا الفصل. لكن هذا الشوط لم يكتمل بعد إذ المطلوب أن تتوافق حسابات هذا النموذج أو نموذج آخر معدل له مع نتائج الأرصاد للخلفية الكونية المايكروية. وهنا نواجه مشكلة الإطار المنهجي الذي تفرضه نماذج فريدمان والتي تقول بتمدد الكون ولا تقول بتوسعه أي تقول بثبات المحتوى الكوني من المادة والطاقة على الدوام على حين أن نموذجنا يقول بتخليق مستمر للمادة والطاقة. وبالتالي فإن الكون فيه يتوسع بإضافة مادة جديدة باستمرار على حساب الثابت الكوني الذي هو محض طاقة. وهذا ما يتسبب في ظهور معادلة لإعتمادية نصف قطر الكون على الزمن مختلفة عن المعادلة التي تقدمها نماذج فريدمان. ولما كانت أبحاث الوفرة الطبيعية للعناصر قد أعتمدت على الصياغات الفريدمانية فإن مخالفتها أمر غير مقبول الآن.

---

[51] U. Alahmad, Non-Singular Cosmoogical Model based on Back-Reation of Quantum Fields, M.Sc thesis, Yarmouk University 2003.

حاشية (11) أين وقع الانفجار العظيم وهل للكون مركز؟

حين ننظر في أرجاء الفضاء فإننا لا نشاهد المكان فقط بل نشاهد الزمن أيضاً. فكلما نظرنا أبعد نظرنا إلى الأقدم عبر الزمن. وبموجب نظرية الانفجار العظيم لابد أن الكون كان أصغر كثيرا مما هو عليه الآن قبل آلاف الملايين من السنين. ويقدر عمر الكون حالياً بما يقرب من 14 مليار سنة. فهل أن مركز الكون يقع على بعد 14 مليار سنة ضوئية منا؟ بموجب نظرية النسبية العامة فإن الجزء المكاني من الفضاء هو سطح ثلاثي الأبعاد، ربما يكون كرويا بل ربما يكون مستوياً. بل ربما كان اسطوانياً. هذا السطح تتكافأ النقاط الواقعة عليه تماماً فكل نقطة مكافئة لكل نقطة أخرى في الكون، حتى أنك ترى الكون على نفس الهيئة العامة من أي نقطة نظرت إليه. ولهذا السبب نقول أن الكون ليس له مركز. فكل نقطة في الكون هي مركز. وبالتالي لا يمكن تحديد نقطة معينة وقع فيها الانفجار العظيم. بل أن الانفجار العظيم نفسه لم يقع في فضاء فلم يكن هنالك زمان ولا مكان، بل إن الزمان والمكان ولدا مع الانفجار العظيم. وكان أبو حامد الغزالي قد أشار إلى هذا في كتاب تهافت الفلاسفة بقوله "**الزمان حادث ومخلوق وليس قبله زمان أصلاً**"[52]. والكون مغلق عن خارجه فلا شيء يمكن تعريفه خارجاً عن الكون. وهنا يقول أبو حامد "**فثبت أنه ليس وراء العالم لا خلاء ولا ملاء وإن كان الوهم لا يذعن لقبوله. فكذلك يقال: كما أن البعد المكاني تابع للجسم فالبعد الزماني تابع للحركة فإنه امتداد الحركة كما أن ذلك امتداد أقطار الجسم وكما أن قيام الدليل على تناهي أقطار الجسم منع من إثبات بعد مكاني وراءه**"[53]. لذلك يقول بعض الفلاسفة المعاصرين أن الانفجار العظيم لا يتأهل لكي يكون حدثاً فالحدث هو ما وقع في زمان سبق ومكان موجود أصلاً[54]. وهذا اعتراض صحيح.

---

[52] أبو حامد الغزالي، تهافت الفلاسفة، ص31.

[53] المصدر نفسه ص33. وتفصيل المسألة في كتابنا (دقيق الكلام: الرؤية الإسلامية لفلسفة الطبيعة)

[54] A. Grumbum, The Pesedu Problem of Creation in Physical Cosmology, Philosophy of Science, 56, 373-394, 1989.

تضخم الكون

بذات الوقت الذي كان فيه اكتشاف الخلفية الكونية المايكروية انتصاراً لنظرية الانفجار العظيم والأصل الساخن للكون فقد جاء هذا الاكتشاف بمشكلات كبيرة وضعت نظرية الإنفجار العظيم بصورتها القياسية أمام تحدٍ كبير. فقد وجد الكوزمولوجيون أن نظرية الانفجار العظيم ناقصة لا تقدم صورة كاملة عن نشأة الكون، وذلك للأسباب التالية:

1. فهي بالأساس تفترض وجود فردنة Singularity عند الزمن صفر (على الرغم من ذلك فإن التأثيرات الكمومية في بدايات الكون الأولى تقرر أن الفردنة غير واردة).
2. كما أنها تفترض أن محتوى الكون من المادة والطاقة ثابت على مدى عمر الكون بعد خلقه مباشرة. فالكون وفقاً لنظرية الانفجار العظيم خُلق من عدم، وعند اللحظة الأولى تم خرق قانون حفظ المادة والطاقة لمرة واحدة فقط، ثم ثبت هذا المحتوى على مدى تاريخ الكون كله.
3. وقد دلت دراسة الخلفية المايكروية الكونية على تجانس واتساق عال، مما يؤشر ترابطا سببيا دائما بين أجزاء الكون على اتساعه الهائل. وهذا، على الحقيقة، يفضي إلى ظهور مشكلتين أمام علماء الكونيات: **الأولى** هي التي تسمى **مشكلة الأفق** The Horizon Problem. فكيف تكون الخلفية المايكروية موحدة الصفات وهي تأتينا من جهتين

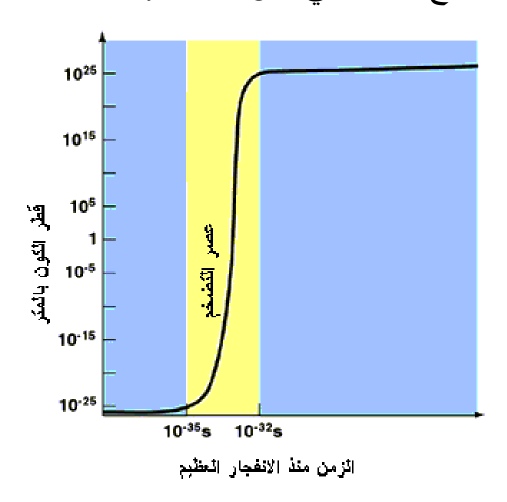
كل منها تبعد عنا بمسافة مقدارها عمر الكون كله مضروبا في سرعة الضوء. المشكلة **الثانية:** هي أن تجانس الخلفية المايكروية الكونية يؤشر ضرورة أن يكون الكون وقت التشتت الأخير الذي شرحناه آنفاً قد صار إلى حالة الانبساط المكاني Spatial Flatness وتسمى هذه **مشكلة الإنبساط** The Flatness Problem. فكيف حصل هذا؟

4. فضلاً عن ذلك توجد مشكلات أخرى مع نظرية الانفجار العظيم القياسية مثل مشكلة سيادة المادة في كوننا الحالي على المادة المضادة Antimatter . فنحن نرى في كوننا الحالي كثيراً من البروتونات والإلكترونات والنيوترونات ولا نرى إلا قليلا من البروتونات المضادة والبوزيترونات والنيوترونات المضادة!! وتدعى هذه المشكلة **لاتناظر المادة** Matter Asymmetry Problem. فضلاً عن ذلك فإن نظرية المجال الكمومي تتوقع توفر قدر كبير من الأقطاب المغناطيسية المنفردة في كوننا الحالي وهذا ما لا نجده فعلاً وتسمى هذه **مشكلة القطب المغناطيسي المنفرد** Magnetic Monopole Problem.

مثَّلت جُملة هذه المشاكل معضلةً كبيرةً أمام نظرية الانفجار العظيم مما استدعى تطويرها. لذلك اقترح ألن جوث Alan Guth عام 1982 فرضية تضخم الكون Cosmic Inflation، هذه الفرضية التي تقرر أن الكون خضع إلى تمدد سريع جداً في المراحل المبكرة جداً من خلقه حتى أنه توسع بسرعة هائلة تفوق سرعة الضوء مرات كثيرة. وهنا يبيح

الفيزيائيون لأنفسهم كسر قانون سرعة الضوء ولكن أيضاً لمرة واحدة ولفترة قصيرة جداً.

استطاعت فرضية جوث أن تحل المشكلات المذكورة أعلاه من الناحية النظرية على المستوى المبدئي ولكن ليس على المستوى التفصيلي. وتُذكرني فرضية جوث هنا بفرضية كوبرنيكوس الذي قال بأن الكواكب تدور حول الشمس وليس حول الأرض، لكنه افترض أن لها أفلاكاً دائرية، فلما جاء تايكو براهي وقام بالأرصاد وجد أن أرصاده لا تتفق مع ما يمكن حسابه للأفلاك من فرضية كوبرنيكوس، فرفضها! ولسبب مماثل ربما لم تكن فرضية جوث موفقة مائة بالمائة في تفسير نشأة التكوينات الكبرى في الكون (أي المجرات والعناقيد المجرية) وتطورها لذلك جرت تعديلات وتنظيرات موسعة كثيرة بعدها في هذا النهج المسمى نمط المنهج التضخمي Inflationary Paradigm.



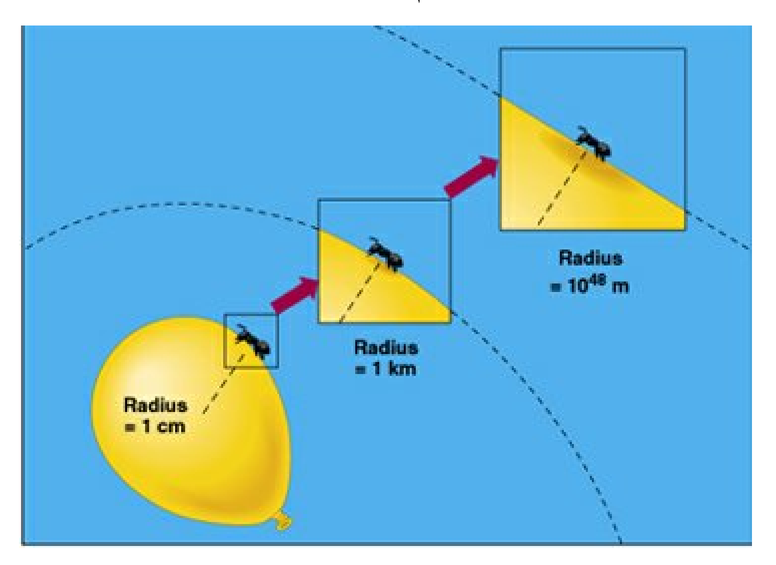
الشكل (23) تضخم الكـــون

يُفسّر تجانس الخلفية الكونية المايكروية على أنه مؤشر على انبساط الكون في مرحلة عصر الفكاك أو التشتت الأخير. وانبساط الكون في أي مرحلة يقتضي أن تكون الكثافة الكلية للمادة والطاقة وأية مصادر أخرى تساوي الكثافة الحرجة Critical Density، وأي اختلاف عن الكثافة الحرجة عند المراحل المبكرة لخلق الكون سيؤدي بالضرورة إلى تفاقم الفروق وتضخمها. إن نظرية التضخم تقدم سبباً وجيهاً لانبساط الكون. فهو منبسط مكانياً لأنه تضخّم سريعاً.

ووفقاً لنظرية التضخم فإن الاختلافات الصغيرة نسبيا في الكثافات تضمحل مع التضخم، فيما تتنامى الفروقات الكبيرة نسبيا في الكثافات. وهذا ما يجعل تكوين الأجرام الكونية الكونية العظمى Large Scale Structures كالمجرات ممكناً. لهذا السبب بالذات تلقى نظريات التضخم الكوني اهتماماً لدى الكوزمولوجيين.

يفترض التأسيس النظري للتضخم القول بوجود كمون عددي Scalar Potential أدى خلال عملية تسمى التدحرج البطئ Slow Roll Mechanism إلى كسر التناظر وتوليد حركة كونية سريعة جداً لأجزاء الكون خلال حقبة زمنية صغيرة جداً. وقد بدا للوهلة الأولى أن هذا مقترح ناجح تماماً لكن الأبحاث النظرية التالية بينت أن هنالك عدد كبير من الكمونات التي يمكن أن تؤدي وفق الآلية المقترحة إلى حصول تضخم. من جانب آخر فقد بينت الأبحاث أن هنالك آليات مختلفة لتحصيل

التضخم مما جعل النظرية تفقد تميزها وتصبح لعبة تنسيق على الأغلب. وهنالك انتقادات جدية لنظرية التضخم[55].



الشكل (24) تضخم الكون أدى إلى انبساطه

لقد تطورت دراسات وتحليل الخلفية الكونية المايكروية خلال العقدين الماضيين (العقد الأخير من القرن العشرين وهذا العقد الأول من القرن الواحد والعشرين) وأهم ما في هذه الأرصاد أنها تشير الى أن الكون بلغ الكثافة الحرجة منذ وقت طويل منذ عصر التشتت الأخير والفكاك. مما يعني أن كثافته كانت طوال هذا الوقت هي الكثافة الحرجة. ولما كانت الأرصاد المستحصلة بالتلسكوبات البصرية تشير الى كثافة للمادة في الكون لا تزيد على 4% من الكثافة الحرجة فإن هذا يعني بالضرورة وجود كمية كبيرة من الطاقة والمادة الخفية في الكون. بكلمة

---

[55] A.R. Liddle, *Inflationary cosmology: theory and phenomenology*, Class. Quantum Grav., **19**, 3391-3401, (2001); N. Turok, *A Critical Review of Inflation*, Class. Quantum Grav. **19**, 3349-3367, (2001).

أخرى يمكن القول أن 94% من مادة الكون الحقيقية مادة أو طاقة غير منظورة. وهذا ما دفع البعض لإقتراح وجود مادة مظلمة Dark Matter وطاقة مظلمة Dark Energy في الكون.

المادة المظلمة والطاقة المظلمة Dark Matter and Dark Energy

قادت نتائج أرصاد الخلفية الكونية المايكروية الكوزمولوجيين إلى الإيمان بأن الكون بجملته العظمى مسطَّح مكانياً. وإذا كان ذلك صحيحاً فهذا معناه أن الكون يمتلك معدل كثافة لمحتوياته يعدل تماماً الكثافة الحرجة. وهذه الكثافة مقدارها بحدود 10^{-29} غم/سم^{3} إذا كانت قيمة ثابت هابل هي بحدود 72 كيلومتر في الثانية لكل ميجا بارسك. لذلك وقع الكوزمولوجيون في بداية التسعينيات من القرن الماضي في حيرة. ذلك أن المادة المنظورة في الكون لا تتعدى 5% فقط من كمية المادة اللازمة لكي يبلغ الكون هذه الكثافة الحرجة. إذن أين الكمية الباقية من المادة وهي 95% من محتوى الكون. قالوا في البداية أنها مادة مظلمة Dark Matter لكن بعض الكوزمولوجيين شكك في مقدار ثابت هابل المستعمل في الحساب، وقالوا إن قياس المسافات الكونية غير مضبوط فنحن لا نمتلك وسيلة قياسية لضبط هذه المسافات ولذلك فإن علينا قبل القرار على كثافة المادة أن نقرر وسيلة دقيقة لقياس المسافات. وجد الكوزمولوجيون ضالتهم في المستعرات العظمى إذ اكتشفوا أن نوعا معينا منها وهو النوع Ia يمكن أن يصلح دليلا للمسافة. فهذا النوع من المستعرات يطلق كمية محددة من الطاقة لحظة انفجاره يسطع بها لمدة معينة. وبالتالي يمكن أن تكون هذه المستعرات بمثابةمصابيح أو "شموع قياسية" Standard

Candles كما تسمى، فلو تمكنا من رصد هذه الشموع وقت انفجارها وتمكنا من قياس سطوعها الظاهري لتمكنا من حساب بعدها عنا. ذلك لأن قانون التربيع العكسي يقرر أن السطوع يتخافت مع مربع المسافة. ولما كان سطوعها في مواقعها (أي نورانيتها) معروف نظريا فإن قياس سطوعها عمليا سيؤدي إلى معرفة بعدها عنا. وهكذا نتمكن من معرفة أبعاد التكوينات المجرية التي تنتمي اليها؛ وبالتالي نتمكن من معرفة المسافات الكونية على نحو أفضل، ونتمكن عندها من استخدام قانون هابل على نحو دقيق، لنستطيع من خلال هذه الأرصاد حساب ثابت هابل حساباً دقيقاً. وهكذا توجهت تلسكوبات العالم لرصد إنفجارات السوبرنوفا وقد ساعد تطور وسائل الإتصال والسيطرة عن بعد في نشر الإشعارات السريعة برصد انفجارات المستعرات العظمى فتمكنت المراصد الفلكية عبر العالم من تنسيق أعمالها لتحصيل أفضل الأرصاد. وهكذا تجمعت لدى الفلكيين أرصاد تكفي لمعرفة أهم المسافات فقام الكوزمولوجيين بحساب تطور التوسع الكوني عبر المليارات الأخيرة من السنين. لكنهم إكتشفوا معلومات جديدة هذه المرة فالكون فيما يبدو يتوسع بتسارع وليس على نحو متباطئ كما كان متوقعاً. وهكذا صار عليهم الآن أن يفسروا كيف يحصل هذا التسارع والكون يحتوي على كمية من المادة تجعل معدل كثافته مساويا للكثافة الحرجة؟ إن مثل هذا التسارع لايمكن أن يحصل ما لم تكون في الكون طاقة من نوع ما تُكسب المجرات هذه السرع العالية وتجعلها تنفر عن بعضها البعض. والغريب أن النتائج تفضي إلى كون تتباعد مجراته بسرعة أكبر كلما إزدادت المسافة بينها. هنا ابتدع الكوزمولوجيون مصطلحا جديدا هو الطاقة المظلمة. هذه الطاقة

الإفتراضية تملأ الكون في كل جنباته وهي التي تدفع بالمجرات في هروبها المتسارع عن بعضها.

عُزيت الطاقة المظلمة في وجه من الوجوه إلى الثابت الكوني الذي كان ألبرت أينشتاين قد افترضه في بداية طرح نظرية النسبية العامة كما سبق وذكرنا. هذا الثابت الذي هو بمثابة قوة تنافر بين المجرات تتزايد مع المسافة ويظهر أثرها عند المسافات الفلكية الكبيرة. وهكذا وجد الكوزمولوجيين ضالتهم في الثابت الكوني مة ثانية ولكن بدلاً من توظيفه لتسكين الكون كما فعل أينشتاين يتم توظيفه الآن لتفسير تسارع الكون. ويجب الإلتفات هنا إلى أن الثابت الكوني في هذه الحالة لن يكون كمية ثابتة بل هو متغير معتمد على الزمن وما تسميته ثابت إلا شيء من المجاز. وهكذا صارت حالة الكون متمثلة بمحتوى مادي مضئ يشكل بحدود 4% وهو المادة المرئية و22% مادة مظلمة و74% طاقة مظلمة.

يعود إقتراح وجود مادة مظلمة غير مرئية تتخلل المجرات إلى الثلاثينيات من القرن الماضي، إذ بينت الأرصاد أن سرعة دوران المجرات اللولبية حول نفسها غير قابل للتفسير وفق قوانين دوران القرص، كما إنها ليست قابلة للتفسير وفق قوانين الجاذبية المعروفة (الدوران الكوكبي). ذلك لأن سرعة دوران قلب المجرة ووسطها يتناسب طردياً مع بعدها عن المركز وهذا موافق لدوران القرص. إلا أن سرعة دوران الأطراف تكاد تكون ثابتة غير معتمدة على البعد، وهذا أمر غريب. وكذلك كان الأمر عندما درست حركة المجرات داخل العناقيد المجرية حيث وجد أن سرعة حركة المجرات الطرفية أكبر مما ينبغي. لذلك إقترح زفيكي Zwicky عام

1934 وجود مادة مظلمة تتخلل المجرة تعيق حركتها. وبهذا تكون سرعة دوران أطراف المجرة ثابتة دون أن تعتمد على البعد عن المركز.

أما الطاقة المظلمة فقد ظهر وجوبها بعد أن تم اكتشاف تسارع الكون فتم افتراض وجودها لتفسير ذلك التسارع. وقد تم وصمها بوصمة طاقة الفراغ الكازميرية Vacuum Energy أو الطاقة التي يعبر عنها الثابت الكوني Cosmological Constant كما ذكرنا. والحق أن كلاهما واحد بالفعل كما بينت الأبحاث الجارية بهذا الصدد[56].

ولكن كيف يمكننا الكشف عن المادة المظلمة؟

أظهر الأبحاث الأخيرة أن أنجع الوسائل وأدقها لكشف مقادير المادة المظلمة هو رصد التعدس الجاذبي للضوء القادم من الأجرام البعيدة. فهذا الضوء إذ يمر بالقرب من المجرات فإنه يعاني من إنحراف يتسبب عن جاذبية تلك المجرات وتحدب الزمكان قربها. وبموجب ذلك يتم حساب كتلة المجرة بحسب قوانين نظرية النسبية العامة. ثم يتم مقارنة هذه الكتلة المحسوبة مع الكتلة التي تدل عليها الأرصاد البصرية المباشرة. ودوما تكون الكتلة المحسوبة أكبر من الكتلة المرصودة بكثير مما يشير حقاً الى وجود مادة مظلمة غير مرئية تحف بهذه المجرات. وقد كُتبتْ خلال السنوات الماضية عشرات الأبحاث الرصينة عن هذه التقنيات وجرت أرصاد على جانب بير من الدقة للكشف عن مقادير المادة المظلمة في هذا

---

56 S. Carroll, *The Cosmological Constant*, Living Reviews in Relativity, 4, (2000); V.Sahni and A. Starobinsky, *The Case for a Positive Cosmological term* Int.J.Mod.Phys.D9:373-444, 2000; M.B. Altaie and M.R. Setare, *Finite-temperature scalar fields and the cosmological constant in an Einstein universe*, Physical Review **D 67**, 044018, (2003); M.B. Altaie, *On the Cosmological Constant*, Hadronic Journal **26**, 173-192 (2003).

الكون. إلا أن المسألة لم تزل غير واضحة ففي الزعم الحالي أن المادة المظلمة ذات خواص تجعلها ضعيفة التفاعل مع أجزاء الكون الأخرى وهذا أمر غريب. لكنه ينطوي بالضرورة على إختصاص ما يسمى المادة المظلمة بشيء مميز. وقد أنجز تلميذي مالك بدارنه رسالة ماجستير راجع خلالها الأرصاد الفلكية الخاصة بالتعدس الجاذبي فظهر أن كمية المادة المظلمة التي تكشف عنها أرصاد التعدس الجاذبي ليست بالقدر الكافي الذي تتطلبه الكثافة الحرجة للكون[57]. وإني لأجد أن موضوع المادة المظلمة لم يزل بحاجة إلى مزيد من التشخيص والبحث النظري الدقيق، فقد يتبين لنا أنها نتاج لتفاعل مجال خامس مع الزمكان.

المتغيرات الكونية

رغم التقدم الهائل الذي حصل في تقنيات الرصد الفلكي خلال الثلاثين سنة الماضية فلازال الفلكيون يعانون من معاضل كبرى في تقدير قيمة المتغيرات الكونية Cosmological Parameters الرئيسية، وهي أربع: ثابت هابل، ومعدل كثافة المادة في الكون وقيمة الثابت الكوني وعمر الكون. وهنالك اليوم مصادر كثيرة للقياس كان آخرها الذي بين أيدينا هو حصيلة خمس سنوات من القياسات الكونية[58] قام بها مشروع WMAP الذي ترعاه وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) والذي يعتمد الرصد الفضائي للخلفية الكونية المايكروية.

---

[57] M. Badarneh, The Gravitational Lensing and the Detection of Dark Matter", M.Sc. Thesis, Yarmouk University, (2010).

[58] E. Komatsu, et. al., Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation, axiv.: 0803.0547v2, Oct. 2008.

ثابت هابل: وهو معيار لسرعة تمدد الكون ووحداته كيلومتر/ثانية /ميجا بارسك. تم حساب هذا الثابت أصلاً من قبل الفلكي هابل في العشرينيات من القرن الماضي واليوم يتم حسابه المباشر بنفس الطريقة، إذ يتم رصد المجرات البعيدة ليتم رصد مقدار الازاحة الحمراء في أطيافها وبمعرفة أبعاد تلك المجرات يمكن حساب ثابت هابل. المشكلة اليوم ذات ركنين الأول فيها هو عدم وجود نظام على درجة كبيرة من الوثوق لتقدير أبعاد المجرات البعيدة. وقد دلت العديد من الأرصاد على عدم دقة التقديرات السابقة. والركن الثاني للمشكلة هو هبوط سطوع المجرات كلما كانت أبعد بسبب سرعاتها العالية. وهذا تأثير معقد لا تتوفر الأرضية الكافية لحصره رغم وجود تقديرات تخمينية له. والتقدير الحالي لثابت هابل هو 72±7 كيلومتر/ثانية/ ميجابارسك.

معدل كثافة المادة في الكون: وتقدير هذه الكمية من الأرصاد المباشرة غير ممكن. لذلك يلجأ الفلكيون إلى التقدير بالحساب. والحساب يعتمد على ثابت هابل الذي لازال مشكلاً. وتقدر قيمة معدل كثافة المادة (المنظورة وغير المنظورة) في الكون حالياً 30% من مجمل محتوى المادة والطاقة في الكون.

تقدير قيمة الثابت الكوني: الثابت الكوني كان قد افترضه أينشتاين بقيمة محدد لتسكين الكون. لكنه بقيم أخرى يصلح أيضاً لتسريع تمدد الكون أو جعله منبسطاً أو جعله منطوياً منكمشاً. والثابت الكوني يقابل طاقة كامنة تنافرية في الكون ويعتقد اليوم إنه السبب الأساس في توسع الكون لذلك كلما كانت كميته كبيرة كلما صار الكون متوسعاً بسرعة

أكبر. وتقدر قيمة كثافة الطاقة الناشئة عن الثابت الكوني حالياً بحدود 72%.

تحليلات أشعة الخلفية الكونية المايكروية

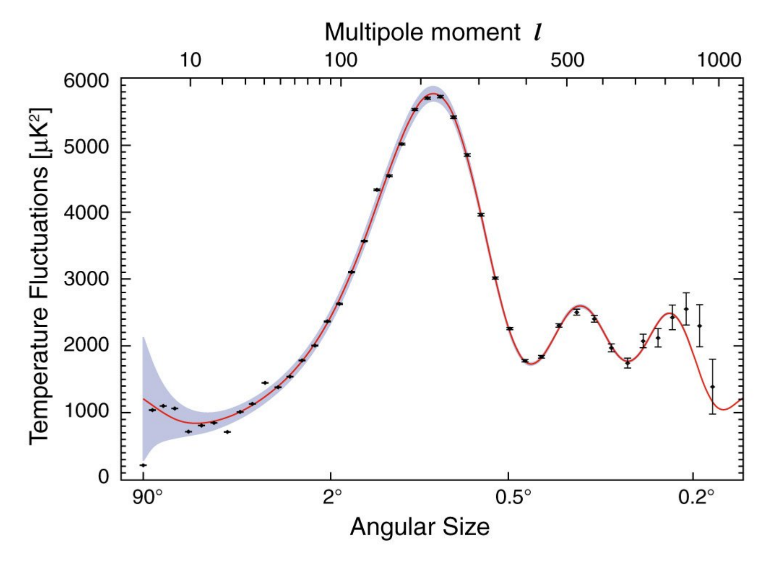
شهدت السنوات الأولى من التسعينيات من القرن الماضي اهتماما واسعا برصد أشعة الخلفية الكونية المايكروية. وكان أهم حدث على هذا السبيل إطلاق المجس الفضائي كوبي[59] COBE الذي أطلقته وكالة الفضاء الوطنية الأمريكية (ناسا) في تشرين الثاني/نوفمبر عام 1989. وقد تصاعد الاهتمام بهذا الموضوع بعد أن كشفت الحسابات النظرية أهمية دراسة خصائص هذه الأشعة، كونها تحمل معلومات غاية في الأهمية عن حالة الكون في أطواره الأولى. فهذه الأشعة هي مسبارنا في الزمن الكوني نسبر به عمق الزمن حتى القرون الأولى من تاريخ الكون. وبالفعل أظهرت قياسات كوبي تطابق منحنى توزيع الأشعة مع منحنى إشعاع جسم أسود عند درجة حرارة مقدارها 2.736 كلفن، إلا أنها أظهرت وجود عدم تناسق unisotropy واضح في شدة الأشعة. وهذا الأمر مهم لمعرفة كيف ومتى تكونت المجرات. ذلك لأن التناسق التام الذي ظن وجوده المكتشفون الأولون لا يصح على الحقيقة مع وجود مجرات في الكون، بل إن التناسق التام يصلح لكون لا يحتوي على مجرات. وبالتالي فإن دراسة عدم التناسق هذا وتوزيعاته الهارمونيكية ربما أمدتنا بمعلومات مهمة ودقيقة جداً عن حالة الكون لحظة أن انفصلت

---

[59] يمكن مراجعة موقع وكالة الفضاء الأمريكية (الناسا) لهذا المشروع على الرابط http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe

هذه الأشعة عن المادة. كما أنها تمدنا بمعلومات عن سرعة تمدد الكون هذه السرعة التي يرمز اليها ثابت هابل. وهذه التحليلات تتحرى التوزيع الزاوي الكروي لشدة الشعاع من خلال توزيع الشدة متعدد القطبية الذي نتمكن منه باستخدام التوافقيات الكروية Spherical Harmonics تماماً كما نفعل مع تحليل مجال مغناطيسي أو كهربائي. وهذا هو جزء أساسي مما ندرسه في نظرية المجال الكلاسيكية.

لقد تمكن الدارسون من معرفة الصعقات الصوتية التي نشأت مع الانفجار العظيم إذ تصادمت جزيئات الكون مع بعضها على نحو عنيف فأصدرت صعقات قوية أسميتها صعقات الخلق[60].



الشكل (25) تحليل توزيع الخلفية الكونية المايكروية وهذها الشكل هو من تحليلات مشروع WMAP

[60] محمد باسل الطائي، صعقات الخلق، مجلة اليرموك، العدد الصفحة 2003.

من جانب آخر فإن هذه الأشعة تمدنا بمعلومات عن محتوى الكون من المادة والطاقة، وبالتالي تمكننا من معرفة كثافة المادة والطاقة في الكون، مما يساعدنا في تخمين حالة الكون سابقا ولاحقاً بما في ذلك تخمين مصير الكون كله. لهذا السبب توالت جهود الباحثين في تدقيق الأرصاد وتحليلها، وتم رصد مبالغ طائلة لهذه الأرصاد والأبحاث والدراسات. ومن الجدير بالذكر أن الرصد الفضائي يوفر لنا فرصة أكبر ومساحة أكبر وميداناً أفضل لقياسات أكثر دقة. وكان آخر المهمات الرصدية في هذا الشأن مشروع ولكنسن- ماب[61] WMAP الذي اطلقته ناسا في حزيران 2001. وقد أكدت آخر الأرصاد التي قام بها فريق عمل برنامج WMAP النتائج السابقة لكنه قدم أرصاداً أكثر دقة. ويمكن تلخيص نتائج الأرصاد للسنوات الثلاثة الأولى كما يلي:

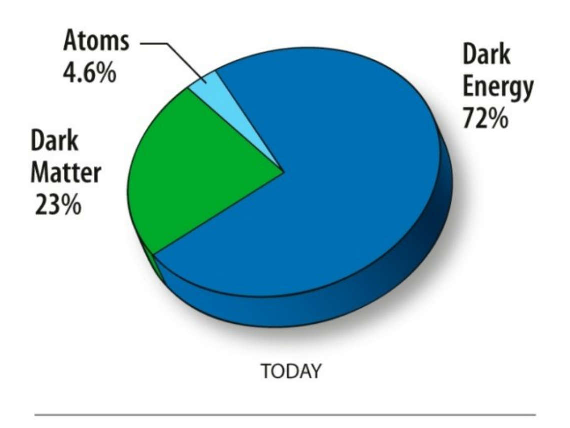
- عمر الكون الآن 13.7 مليار سنة محسوبا بدقة مقدارها 1%.
- الكون مسطح مكانيا بدقة 1%.
- نسبة المادة العادية في الكون 4.6% بدقة مقدارها 0.1%.
- نسبة المادة المظلمة 23.3% بدقة مقدارها 1.3%.
- نسبة الطاقة المظلمة 72.1% بدقة مقدارها 1.5%.
- الكون حالياً في حالة توسع على نحو متسارع.

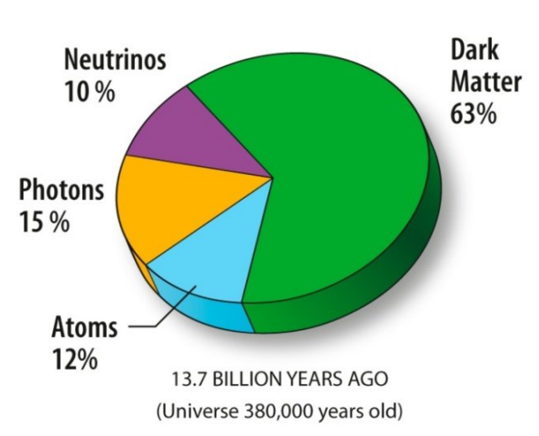
ولكن هل هذه النتائج نهائية ومحسومة؟ إن المشكلة في تحليلات الأشعة الكونية أنها تقوم على جملة فروض وتتم وفق إطار نظري معين هو إطار فريدمان القياسي. وهذا ليس بالضرورة هو الاطار الصحيح إذ بينت

---

[61] يمكن مراجعة موقع وكالة الفضاء الأمريكية (الناسا) لهذا المشروع على الرابط http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/current

أبحاث جديدة أن النتئج التفسيرية التي نصل اليها عبر نمذجة معينة للكون ربما تغيرت بسبب تغير الفروض الأساسية للنموذج واعتماد إطار نظري مختلف. وهذه المسألة هي إحدى المشكلات الرئيسية في الكوزمولوجيا المعاصرة. ويبدو وكأن الإطار المنهجي الفريدماني نصٌ منزل لا حياد عنه. والحق أن هنالك أسباب لهذا التحزّب للإطار الفريدماني أهمها مسألة الخلفية الكونية الحرارية وحسبان الوفرة الطبيعية للعناصر الكيميائية باعتبارهما شاهدي إثبات على صحة الاطار الفريدماني.





الشكل (26) مقارنة بين محتويات الكون حليا مع محتواه بُعيد خلقه

ويبقى أمام مشروع ولكنسن ماب مهمات أخرى تتمثل في التأكد من وجود تضخم كوني في المراحل المبكرة للكون. بينما تمثل المشكلة أمام الفيزيائيين النظريين في تفسير ماذا يمكن أن تكون المادة المظلمة وماهية الطاقة المظلمة. على حين يبقى فيزيائيو الجسيمات الأولية يتساءلون عن نوعية الجسيمات التي تؤلف المادة المظلمة بانتظار تشغيل مصادم الجسيمات الكبير LHC في سيرن نهاية العام 2009.

إن من الضروري الاشارة إلى حقيقة أن الأرصاد الكونية يمكن تفسيرها أحيانا على نحو مختلف. ويبدو أن هذه المسألة تتمتع بشيء من التأكيد في حالة أرصاد الخلفية الكونية المايكروية. فمثلاً زعم سبيرجل وجماعته[62] أن الكون لا بد أن يكون قد تعرض إلى التضخم في مراحل تكوينه المبكر. على حين بيَّن جون بارو[63] وآخرين أن نتائج الأرصاد التي عالجها سبيرجل وجماعته يمكن تفسيرها بطريق آخر دون الحاجة إلى حصول تضخم كوني. ومن هذا المثال يتضح أن المشكلة اليوم هي ليست في الأرصاد بقدر ما هي في تفسير الأرصاد. ومن الجدير بالذكر أن كل فريق من الفرقاء يعمل لدعم نظريته أولاً. فضلاً عن أن هنالك قدر لا يستهان به من التهويش الصحفي الذي ينافي أخلاقيات العلم، وكثيراً ما يشوش على الأفكار الصحيحة. وهذا برأينا هو أحد الأسباب التي تؤدي الى إعاقة التوصل الى صورة واضحة عن ما يجري بالفعل.

---

[62] D.N. Spergel et al., Astrophys.J.Suppl.170:377, 2007.
[63] J. Barrow, A. Liddle and C. Pahud, Phys.Rev.D74:127305, 2006.

حاشية (12) هل يمكن للكون المنبسط أن ينطوي؟

ذكرنا آنفاً أن تحليلات أرصاد الخلفية الكونية المايكروية تشير إلى أن الكون منبسط حالياً ومعدل كثافته مقارب جداً للكثافة الحرجة. وبموجب حلول فريدمان فإن الكون سيستمر في التمدد إلى ما لانهاية ولن يُطوى أبداً. إلا أن حلول فريدمان القياسية تخلو من ثابت كوني كما هو معروف على حين أن أرصاد الخلفية الكونية المايكروية تشير إلى وجود ثابت كوني. ومن الناحية النظرية دلت أبحاثنا في التفاعل الردي للمجالات الكمومية في كون أينشتاين على أن كثافة الكون هي بالضبط الكثافة الحرجة. وهذا ما يجعل الكون يمتلك هندسة مكانية مسطحة. وهذا ما يجعلنا نزداد قناعة بأن الكون يمتلك الكثافة الحرجة وبالتالي فهو مسطح مكانياً. ولكن هل بالضرورة أن يستمر الكون المسطح مكانيا بالكثافة الحرجة بالتمدد إلى ما لا نهاية؟ وهذا ما جعلنا نفكر في إجراء حسابات على كون معتمد على الزمن مسطح مكانيا بوجود ثابت كوني. ولهذا عمل تلميذي منير درادكة تحت إشرافي فأخذ نموذجاً كونياً جزئه المكاني عبارة سطح اسطواني، وهذا هو سطح إقليدي، وجعل في معادلات أينشتاين ثابت كوني يعتمد على الزمن. فوجد أن قيمة معينة من الثابت الكوني يمكن أن تجعل الكون ينطوي وذلك بأن يلتف السطح الاسطواني على نفسه حتى يصبح خطاً[64]. وبالتالي فإن هذه النتيجة المهمة تبين أن الكون ممكن أن ينطوي كما تنطوي الصحائف المستوية بشكل اسطواني على نفسها وتصير خطاً. ومن الجدير بالذكر أيضا أن النموذج الذي وضعناه كشف أن مثل هذا الكون هو من النوع الدوري إذ بعد طيّه ووصوله الى أدى قدر ينطلق ثانية في دورة جديدة.

يجري التأكيد حالياً في المجلات العلمية العالمية أن الكون يتسارع في تمدده. والحقيقة أن هذا الاستنتاج يأتي وفق تشريح نمطي للخلفية الكونية المايكروية وفق نماذج فريدمان إلا أن الحقيقة ربما تكون غير ذلك. فمثلاً

[64] M. Daradka, A Collapsing Flat Universe, M.Sc. Thesis, Yarmouk University, 2006.

تقرر نماذج فريدمان أن الكون الذي معدل كثافته الاجمالية يساوي الكثافة الحرجة سيكون مسطح مكانيا وسيستمر في التمدد إلى مالانهاية. لكن هذا التصور يكون صحيحاً لو أننا أهملنا الثابت الكوني. أما وقد كشفت تحليلات الأرصاد الدقيقة للخلفية الكونية المايكروية عن وجود الثابت الكوني فإن من المفروض معاودة النظر إلى حلول فريدمان التقليدية وهذه المرة بإدخال الثابت الكوني فيها. وإذ نفعل هذا مع كون مسطح، مثلاً: سطح اسطواني منبسط ثلاثي الأبعاد المكانية موجود في فضاء رباعي الأبعاد، فإن النتيجة ستؤدي إلى:

1. إن مثل هذا الكون يتوسع ولا يتمدد وحسب. بمعنى أن كمية المادة والطاقة التي في الكون تزداد باستمرار بمعدل يتناسب مع توسعه. وهذا ما يعني تحول الثابت الكوني إلى مادة وطاقة يختزنها الكون في تشكيلاته المادية وفي حركة هذه التشكيلات.

2. إن توسع الكون يبلغ حداً يقف عنده فلا يستمر إلى الأبد في توسعه بل يقف عند قدر معين ينهار الكون بعده ليتكور على نفسه فتطوى صحيفة الكون طي السجل للكتب.

3. وقد دلت نتائج البحث أن مثل هذا النموذج لا يتوقف بل يؤدي إلى كون متذبذب يعاود النشأة عن الحد الأدنى الذي يبلغه بعد التكوير وهكذا في عملية مستمرة.

4. إن مراحل تطور الكون وفق هذا التصور تتضمن تسارعا في بدء الخلق ثم تباطؤٍ في مراحل أخرى حتى يصير الكون إلى التكوير العظيم.

إن هذا النموذج الكوني بحاجة إلى مزيد من البحث والتدقيق لغـــرض استبيان امكانية توظيفه لدراسة الوفرة الطبيعيـــة للعناصـــر الخفيفـــة والنظر فيما إذا كان هذا النموذج مؤهلاً ليكون بـــديلا عـــن نمـــاذج فريدمان التقليدية.

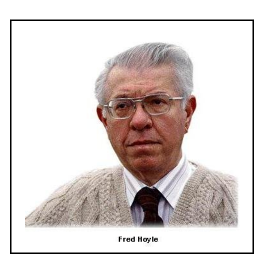
بدائل أخرى ومعالجات لنظرية الانفجار العظيم

نظرية الحالة المستديمة

تبدو نظرية الانفجار العظيم غير معقولة في بعض فروضها الأساسية، ولعل أهم لا معقول فيها هو مشكلة الفردنة الأولى التي انبثق عندها الانفجار العظيم، وخاصة فردنة المكان. فلماذا كان للكون أن ينبثق على هذه الصورة من العدم المحض؟ ولماذا اتخذ التشكل المادي هذه الصورة وبهذه النسب؟ وإذا ما كان الكون في حالة تطور متنقلاً من حالة لإخرى فهل يمكننا الحديث عن حالة فيزيائية ثابتة للكون؟ ألا يمكن القول أن قوانين الفيزياء العاملة عندما كان مجموع المادة والطاقة التي يحويها الكون منكبسا في كبسولة ضئيلة أغرب اللامعقولات؟

في بداية الخمسينيات من القرن الماضي قدم هيرمان بوندي وتوماس جولد نظرية بديلة لسيناريو الإنفجار العظيم. تقوم هذه النظرية على القول بما يسمى المبدأ الكوني التام Perfect Cosmological Principle. هذا المبدأ يرى أن الكون بما هو كائن مستقر على حالته الإجمالية كما هو عليها أبداً دون تغيير. وهذا يعني أن معدل كثافة المادة والطاقة في الكون ثابت على مدى العصور. وبالنظر لتمدد الكون باستمرار فإن قدرا من المادة لا بد أن يتخلق في الفضاء الخالي بين النجوم بقدر يتناسب تناسبا مباشراً مع مقدار توسع الكون حتى تبقى كثافة الكون الاجمالية ثابتة دون تغيير. وهذا ما اقترحه أصحاب النظرية التي سميت نظرية الحالة المستديمة Steady-State

Theory أو نظرية الخلق المستمر Continuous Creation. وفي الوقت الذي كان إهتمام واضعي هذه النظرية منصباً على معرفة العواقب الفلكية وما يمكن أن تتنبأ به النظرية من مظاهر فلكية، كان فرد هويل منهمكا في البحث عن تأسيس نظري مجالي لتبرير عملية الخلق المستمر. وبالفعل تمكن هويل من تقديم صياغة نظرية تؤمن تخليق جسيمات تعطي هبوط الكثافة مع التمدد. إلا أن النظرية شهدت نكسات على المستوى الأرصادي إذ لم يجد الفلكيون تطابقا بين ما تقترحه النظرية وما هو مشهود في السماء.


Fred Hoyle

السير فرد هويل

ولد عام 1915 قرب برادفورد في مقاطعة يوكشاير البريطانية. كان أبوه تاجر أصواف. درس في جامعة كمبردج. اشتهر بنظريته في تفسير تخليق العناصر الأثقل من الهيدروجين في باطن النجوم الثقيلة، إذ أنجز أبحاثاً متميزة بالتعاون مع فولر وباربيج. كانت له آراء راديكالية في كثير من الأمور العلمية والفلسفية. عُرِف بمعارضته لنظرية جامو في الإنفجار العظيم وهو الذي كان أسماها بذلك. كما عُرف بتأييده لنظرية الحالة المستديمة للكون وما يسمى نظرية الخلق المستمر، إذ تمكن من توفير آلية علمية لذلك قائمة على نظرية المجال. إلا أن الأرصاد جاءت معاكسة لتنبؤات نظرية الحالة المستديمة. شخصية فذة مبدأية ذات سمت عالي ومواهب منوعة. كتب عام 1956 رواية من الخيال العلمي بعنوان (الغمامة السوداء The Black Cloud) وفيها حوارات وأحداث تجري مع كائن كوني عملاق يقترب من الأرض ويحجب عنها الشمس. ومع هذا فلربما كان هويل أحد المغبونين في تاريخ العلم المعاصر فهو لم ينل جائزة نوبل رغم انجازاته النظرية الكبرى التي تم التحقق من بعضها عملياً. عندما ذهبت للدراسة في جامعة مانشستر عام 1974 كنت أنوي أن أتتلمذ على فرد هويل لكنني وجدته قد غادر إلى الولايات المتحدة حيث قضى شطراً من عمره هناك. توفي فرد هويل في انكلترة عام 2001.

الحقيقة إن مسالة نشوء البنى الكونية الكبرى Large Cosmic Structures مثل المجرات والعناقيد المجرية كانت واحدة من المشاكل التي واجهت نظرية الانفجار العظيم بعدما تم اكتشاف الخلفية الكونية المايكروية. ذلك أن تماثل هذه الخلفية في كافة المناحي (ما سميته التناسق) يرجح أن لا تنشأ مجرات. فما الدافع أن تتجمع الغازات حول مركز وتراكم لتؤلف كتلة هائلة بهذا القدر تخرج من مجرة؟ التفاوت في توزيع الكثافة الذي تقرره أرصاد الخلفية الكونية المايكروية لا يكفي لتبرير ذلك. إذن ما الحل؟ لقد لجأ الكوزمولوجيون إلى فكرة التضخم فقالو إن حصول التضخم في الأوقات المبكرة جدا من تاريخ الكون (عندما كان عمر الكون 10^{-35} ثانية) وتضاعف حجم الكون ملايين المرات أدى إلى تضخيم تلك التفاوتات. لكن الحسابات الزمنية تبين أن التضخم المبكر لا يصلح في هذه الحال لأنه إنما جاء والكون لم يزل خلو من المادة ولمّا تتشكل أية ذرات، بل لم تتشكل أي من الجسيمات الأولية بعد إذا ما قلنا بانبثاق الكون جملة واحدة عن الفردنة.

طيب ماذا يمكن أن يقال في هذا الشأن للخروج من هذا المأزق؟

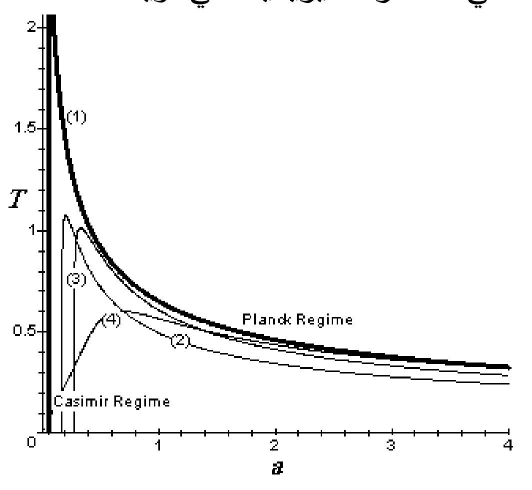
النموذج الكمومي للكون البدائي

لقد دلت الأبحاث التي قمت بها خلال الثلاثين سنة الماضية لحالة الكون البدائية جداً أن من الضروري أخذ التأثيرات الكمومية بنظر الاعتبار. وبالفعل تبين لنا أن هذه التأثيرات يمكن أن تفسر حالة الكون البدائي وتغنينا عن انبثاق الكون عن فردنة كلاسيكية. فلقد وجدتُ أن الحسابات تفضي إلى الكشف عن أن الكون لحظة خلقه كان انبثق بقدر

من الطاقة والمادة محصورة في حيز ضيق وصغير جداً (لكنه غير صفري) بكثافة حرجة Critical Density. ولوجود الحيز غير الصفري Non-Zero Volume يتم تجاوز فردنة فريدمان اللامعقولة Friedmann Singularity. بذات الوقت الذي يكشف فيه النموذج عن حالة خلق مستمر للمادة ينمو متناسبا تناسباً طردياً مع مربع نصف قطر الكون، مما يجعل الكثافة تتناقص مع زيادة مربع نصف قطر الكون بحيث تبقى الكثافة الإجمالية للكون عند القدر الحرج على الدوام، فهذه الكثافة الحرجة كما هو معلوم تتناسب عكسيا مع مربع نصف قطر الكون. إن الطاقة العدمية التي تتخلق في لحظات الخلق الأولى تسمى طاقة كازمير Casimir Energy، وهي طاقة موجبة في حالة كوننا المفترض هنا، تتزايد بسرعة كبيرة جداً، وينعكس ذلك من خلال ارتفاع درجة حرارة الكون سريعاً إلى قدر هائل يصل إلى 10^{32} كلفن. لكن هذه الطاقة هي ليست كطاقة الإشعاع التي نعرفها فهي لا تخضع لقانون بلانك للتوزيع الطيفي إذ لم تتخلق بعد جسيمات (أي لا توجد جدران) يتفاعل معها الإشعاع. ولكن نتائج مثل هذه الأبحاث مهمة جداً في تصوير اللحظات الأولى لخلق الكون.

أما بالنسبة لقضية تطور الكون وتخليق الجسيمات الأولى فيه فإننا نجد أن حرارة الكون تتصاعد بعنف في اللحظات الأولى لتمثل عصـــراً قصيرا هو عصر الكون ما قبل تشكل المادة أسميناه "العصر الكازميري" Casimir Regime وفية تتصاعد حرارة الكون سريع حتى تبلـــغ مقـــداراً أعظماً ثم تبدأ بعده، بالتناقص سالكة هذه المرة سلوكا متطابقا مع قـــانون بلانك لتوزيع الطيف الحراري ولذلك كان أن أسمينا هذا العصر الكـــوني الممتد منذ ذلك الحين وحتى الآن "العصر البلانكي" Planck Regime. مع

بداية هذا العصر تبدأ الحرارة فيها بالانخفاض فنقول إن قانون بلانك قد ولد تلك اللحظة. إذ لا يمكن فهم هذا التحول في تصرف الطاقة الكازيميرية إلا بكونها أخت تُمتص وتتبعث عن جسيمات جرى تخليقها في الفضاء. ولكن ماهي الظاهرة الفيزيائية التي تؤيد ذلك؟



الشكل (27) تغير نصف قطر الكون مع درجة حرارته لمجالات كمومية متعددة في فضاء أينشتاين

تكاثف الطاقة في فضاء آينشتاين وتوّلد الجسيمات

لتفسير حصول هذا التغيير المفاجئ في سلوك الطاقة المتخلقة من العدم حاولت توظيف ما يسمى تكاثف بوز ــ أينشتاين Bose-Einstein Condensation. ولذلك قُمتُ بدراسة تكاثف الجسيمات اللانسبوية في فضاء آينشتاين ونَشرتُ عنها بحثا عام 1978م في مجلة Journal of Physics A البريطانية التي يصدرها معهد الفيزياء IOP. ثم درستُ تكاثف الجسيمات النسبوية ونشرتُ بعض الأبحاث عنها. ثم قمتُ من خلال تلامذتي بمحاولات لدراسة تكاثف الفوتونات في فضاء أينشتاين،

منها دراسة مع تلميذتي هالة قيدار[65] ولاحقا مع تلميذي محمد شــديفات[66] لكنني لم أتوصل إلى نتائج نهائية بمعالجة الفوتونات مباشرة. لذلك قمــتُ بدراسة تكاثف الجسيمات المتجهية Vector ذوات الكتل غير الصــفرية، وقمتُ بأخذ الغاية الصفرية بعد ذلك للحصول علــى النتيجــة المطلوبــة للفوتونات. وجاءت النتيجة لتبين أنه في المراحل الأولى لخلق الكون أدى تصاعد الحرارة إلى وصولها إلى مقدار حرج هو بحــدود 10^{32} كلفــن، تكاثفت عنده الطاقة الكازميرية التي تخلّقت من الخلاء. وقــد وجــدنا أن الفوتونات تتكاثف لتنزل إلى حالة أرضية متشاكهة Coherent State قريباً من درجة الحرارة العظمى التي تحصل في فضاء آينشتاين في النطــاق الكازميري، وقد نشر هذا البحث في مجلــة Journal of Physics A عــام 2000. وهذا يعني أن الطاقة التي تخلَّقت من العدم في نطاق ضيق جــداً لا بدّ أنها تحولت إلى نوع من المادة الأولية الغريبة، أي جسيمات أوليــة ذات كتلة سكون غير صفرية. والحقيقة إن الحســابات لا تكشــف عــن خصائص ما تم تخليقه بالفعل بل تعبر عن تحقق وجود ما يسمى كثيــف بوز Bose Condensate، وهذه الحالة يمكن أن تمثل معيناً لتخليق أجــداد الجسيمات الأولية التي تخلَّقت عنها الجسيمات الأولية التي نعرفها اليوم. كل هذا السيناريو يبدو أنه حصل بسرعة فائقة في جزء ضئيل جداً الثانية الواحدة.

لقد قام تلميذي أسامة الزعبي بإعادة دراسة هذا النموذج وتطبيقــه على حالة أكثر واقعية وهي نموذج روبرتسون والكر المعتمد على الزمن

---

[65] H. Kaydar, Condensation of Massless Pharticles in Curved Spacetime”, M.Sc. Thesis, University of Mosul, (1996).

[66] M. Shudeefat, Photon Condensation in an Einstein Universe, M.Sc. Thesis, Yarmouk University, (2000).

فوجد توافقا مع النتائج السابقة من الناحية النوعية[67]. إلا أن العقبة الرئيسية في إعتماد هذه النماذج تكمن في كونها تتعارض مع سيناريو الإنفجار العظيم الذي سار عليه جامو والذي يعتبر ناجحاً في تفسير الوفرة الطبيعية للعناصر. حيث أننا نجد إختلافا بين النموذجين في تحديد معدل تمدد الكون فضلاً عن أن النموذج الكمومي الذي نقترحه يقضي توليد قدر أولي من الطاقة يتزايد باستمرار بمعدل يتناسب طردياً مع الزيادة في نصف قطر الكون. وهذا مخالف لفرضية جامو الأصلية من أن الكون احتوى منذ البداية على القدر الذي هو عليه من المادة والطاقة. بمعنى أن نموذجنا الكوني القائم على احتساب التأثيرات الكمومية يفضي إلى كون لا فردني Non-singular يتمتع بالكثافة الحرجة منذ أول خلقة يتمدد مع الزمن (ولكن بنمط غير فريدماني) ويتضمن تخليقاً مستمراً للمادة والطاقة على نحو يتناسب طرديا مع تزايد نصف قطر الكون (وهذا مختلف أيضا عن النمط الذي في نظرية الحالة المستقرة). كما أن نموذجنا هنا لا يحتاج إلى تطور تضخمي وهو خال من المشكلات التي يعاني منها النموذج القياسي الفريدماني. في نموذجنا يقوم الثابت الكوني مقام الطاقة المظلمة.

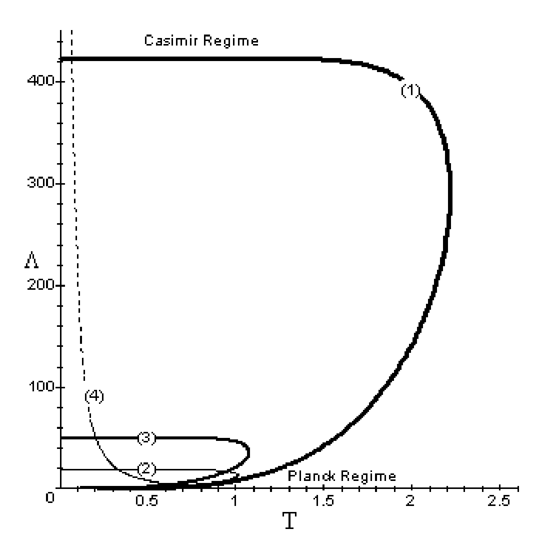
دراسة الثابت الكوني

من المعروف أن الثابت الكوني Cosmological Constant هو مقدار كان آينشتاين افترض وجوده لغرض تسكين الكون. وذلك لأن قوى الجاذبية بين الكتل الكونية تعمل على جذب هذه الكتل إلى بعضها، وتؤدي بالتالي إلى انهيار الكون لا محالة ما لم توجد قوة مضادة. ونظرا لأن

[67] U. Al-Ahmad, A Cosmological Model Based on the the Back-Reaction of Quantum Fields in an Einstein Universe, M.Sc. Thesis, Yarmouk University, 2003.

أينشتاين كان يعتقد وقتها أن الكون ساكن إذ لم يكن معروفاً في ذلك الوقت أن الكون يتمدد، فقد لجأ إلى افتراض وجود قوة تنافرية بعيدة المدى تعمل بين المجرات مما يعاكس قوة الجاذبية ويعمل بالتالي على حقيق تـــوازن يؤدي إلى سكون الكون، ولهذا الغرض عدّل أينشتاين معادلاته الأصـــلية وضمنها حدا يشتمل على ثابت كوني.

في دراستي للتأثيرات الكمية في المراحل الأولـــى لخلـــق العـــالم استخدمت نموذج أينشتاين. وقد مكنتي النتائج من دراسة الثابت الكـــوني وكيفية تغيره بتغيير نصف قطر الكون حيث إنه فـــي نمـــوذج أينشـــتاين السكوني دالة مباشرة تتناسب قيمته عكسياً مع مربع نصف قطر الكـــون، وتتلخص النتائج النهائية للدراسة بالرسوم البيانية المبينة في الشكل (28) حيث تبين لنا أن للثابت الكوني قيمة عظمى عند بدء خلـــق العـــالم ثـــم تتناقص هذه القيمة ببطء أول الأمر ليهوي في التناقص سريعاً في رمشة عين حتى يذهب متجها إلى الصفر كلما توسع الكون. ومن الضـــروري الانتباه إلى أن الثابت الكوني وبعد أن كان ثابتا خلال العصر الكازميري فإنه ينحل سريعا خلال العصر البلانكي ليتحول الكون إلى طور آخـــر. ومن الجدير بالذكر أن هذه النتائج تتطابق نوعيا مع الأرصـــاد الكونيـــة والتوقعات النظرية الأخرى.



الشكل (28) تغير قيمة الثابت الكوني مع درجة حرارة الكون لمجالات كمومية متعددة في فضاء أينشتاين

الأهمية الفيزيائية للثابت الكوني

منذ منتصف التسعينيات من القرن الماضي عاود الفيزيـــائيون الاهتمـــام بالثابت الكوني وذلك لأنهم انتبهوا إلى الحاجة إلى هذا الثابـــت لتغطيـــة الفرق في الطاقة المشهودة في الكون والطاقة المحسوبة نظرياً بموجـــب نموذج الكون المنبسط بحسب فريدمان إذ وجدوا بينهما تفاوتاً كبيراً. كما أنهم أرادوا تفسير التسارع الذي تفضي اليه الحسابات القائمة على نماذج فريدمان والمشتق من نتائج ارصاد الخلفية الكونية المايكرويـــة Cosmic Microwave Background Radiation. ومزيد مـــن المعلومـــات يمكـــن إيجادها في الموقع التالي: http://map.gsfc.nasa.gov/

والحقيقة فإن نموذج أينشتاين السكوني كان قد احتوى الثابت الكوني كما نعلم، إلا أنه غير حركي بل سكوني، مع ذلــك فقــد عــاود بعــض الباحثين الاهتمام به مؤخراً.

منظورنا إلى تطور الكون

برأيي إن نماذج فريدمان لا تعبر تعبيراً صحيحاً عن حالة الكــون وذلك لأنها تفترض أن مجمل المادة والطاقة التي في الكون حالياً إنبثقــت مرة واحدة من اللاشيء. وهذا الانبثاق يسمى إنبثاقــا فَرْدَنيــا Singular. لذلك يقال إن نماذج فريدمان هي نماذج ذوات فردنة Singular Models. وفي الحقيقة فإن لهذا الفهم نوع من اللبس، ذلك لأن القول أن الكون قــد انطلق من نقطة ذات كثافة لا نهائية كانت تحوي مجمل المادة والطاقــة التي فيه كلام غير دقيق أبداً؛ لأن حالة الفردنة هذه لا يمكن ان تمثل واقعاٍ فيزيائياً. ولو أنهم قالوا إن قدرا أوليا من المادة والطاقة التــي يحتويهــا الكون قد تولدت من العدم خلال زمن قصير جداً لكان هــذا أكثــر دقــة وأقرب إلى الواقع، فكثير من الفيزيائيين وأنا واحد منهم لا يرى أي معنى فيزيائي للفردنة. إن الحديث عن نشأة للكون يحتوي منذ البدء على جملة المادة والطاقة التي هي اليوم فيه، حديث يتناقض مــع حقــائق الفيزيــاء الأولية. ذلك أن كمية المادة التي تقدر بأنها على الأقل مــا يعــدل 10^{79} بروتون وبالتالي مثل هذا الرقم من الألكترونات يحتاج إلى حجم أصغري لا يقل عن كرة نصف قطرها 10^{11} متراً في أقل التقديرات. لذلك لايمكن الحديث عن كون صغير جداً يحتوي كل هذا الحشــد مــن البروتونــات والألكترونات.

من جانب آخر أظهرت دراسة الخلفية الكونية المايكروية عيوباً كثيرة لنظرية الانفجار العظيم التقليدية Standard Big Bang Theory مما أدى إلى وضع نظرية التضخم Inflation Theory التي تقول أن الكون لا بد وأن يكون قد مرّ بمرحلة من التمدد المتسارع (التضخم) بحيث تضاعف حجمه مرات كثيرة خلال زمن قصير جداً. وقد لاقت هذه النظرية أول أمرها بعض النجاح في تفسير أمور نظرية وفتحت آفاقا جديدة في علم الكونيات لكنها خلقت مشكلات جديدة أيضا، ولا يزال الأساس النظري أو الدافع لحصول التضخم مبهما غير مبرر بما يكفي مما يرجح كونه حلا نظريا وحسب.

لقد كونت نتائج أبحاثي العلمية منظوري العلمي إلى الكون وإلى تاريخ الكون بقدر من الوضوح الذي يسمح لي بالحديث عنه، فأنا أرى الكون تخلّق زمكاناً كومضة صغيرة نتيجة حصول تحدب مفاجئ في العدم تعاظم فجأة وخلال مدة صغيرة حتى ارتفعت درجة حرارة تلك الومضة إلى حدود 10^{32} كلفن بنتيجة تفاعل الفراغ (العدم) مع الزمكان المحدب، وهذا ما أسميناه العصر الكازميري Casimir Era حيث تولدت الطاقة من العدم المحض محولة التحدب الزمكاني إلى طاقة صرف، وعندما وصلت درجة الحرارة إلى القدر المذكور حصل للطاقة المتولدة ظاهرة تسمى تكاثف بوزـ أينشتاين Bose – Einstein condensation مما أدى إلى تطوير حالة من الطاقة المتكثفة على شكل جسيمات لها كتل سكون لا صفرية وعند هذا الحد ولد قانون بلانك في انبعاث وامتصاص الإشعاع الحراري مما جعل حرارة الكون تنخفض متناسبة عكسيا مع توسع قطر الكون، وبقية القصة يكملها علم الكوزمولوجيا المعاصر.

إن المادة والطاقة في نموذجي الكوني هي في حالة توليد مستمر، بدأ عنيفاً في اللحظات الأولى ثم تباطأ تدريجياً، وهكذا هو حتى الآن. هذا إجمال تصوري لبداية الكون.



المادة والطاقة: الجسيمات الأولية

الجسيمات الأولية هي تلك العناصر الأساسية التي يعتقد أنها الأكثر أولية في تكوين المادة. وكان الألكترون هو أول الجسيمات الأولية التي تم اكتشافها، إكتشفه البريطاني جوزيف ثمسون عام 1897 من خلال أنبوبة أشعة المهبط Cathode-ray tube كما كانت تسمى. ومن ثم تم اكتشاف البروتون، أو التحسس بوجوده على الأقل، من خلال تجربة اللورد رذرفور وتلامذته عام 1911. وبعد حوالي عشرين عاماً من ذلك إكتشف شادويك (1891–1974) النيوترون في داخل نواة الذرة عام 1932. ثم تم اكتشاف البوزيترون وهو ضديد الألكترون موجب الشحنة. ثم توالى اكتشاف جسيمات أخرى في الأشعة الكونية منها ميزونات ميو μ وهي جسيمات أثقل من الألكترون بحدود 205 مرة تكون بعضها سالبة الشحنة وبعضها الآخر (ضديداتها) موجبة الشحنة. والميزون جسيم أثقل من الألكترون وأخف من البروتون.

ولغرض تفسير القوى التي تشد البروتونات المتنافرة إلى بعضها داخل نواة الذرة قام الفيزيائي الياباني يوكاوا (1907–1981) بوضع نظرية تقول بأن البروتونات والنيوترونات داخل نواة الذرة تتبادل ميزونات باي الموجبة والسالبة والمتعادلة (وتجمع بايونات) ويرمز لها بالحرف اليوناني π. وبحسب نظرية يوكاوا كان لمثل هذه الجسيمات أن توجد بالضرورة لتفسير القوى النووية قصيرة المدى وقد تم اكتشافها عمليا في عام 1947م. وخلال الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي تم اكتشاف العشرات من الجسيمات الأولية حتى بلغ عددها مائتي جسيم.

ثم جرى تصنيف الجسيمات الأولية بحسب تفاعلاتها مع بعضها البعض إلى هادرونات (وتشمل البروتونات والنيوترونات) ولبتونات وتعني الجسيمات الخفيفة (وتشمل الألكترونات والميونات وجسيم تاو والنيوترينوهات وأضدادها) وميزونات (وهي عادة ما تكون جسيمات ناقلة للقوة) وكواركات وجسيمات رابطة مثل الغلوونات والفوتونات.

تقوم نظرية الجسيمات الأولية المعاصرة على بنية نظرية المجال الكمومي النسبوية وهي في إطار هذه النظرية تحمل حسناتها وسيئاتها وخصوصاً مبدأ الإتصال الذي يبقى صحيحاً بالطبع ضمن حدود معينة. إلا أن هنالك حالات يصبح عندها الإتصال غير موفق للتعبير عن الواقع، فضلاً عن أن مشكلة اللانهايات تبقى قائمة دون حل جذري. ويعتقد النظريون أن الوصف الإتصالي صالح دوماً حتى حدود أبعاد بلانك لكننا ربما نجد أن التعبير الإتصالي غير صالح حتى عند حدود أكبر من أبعاد بلانك بكثير. وحتى على المستوى الذري لا يبدو الإتصال صالحاً لوصف

تحولات المادة والطاقة لكن نجاح الوصف الاتصالي المتمثل بنظرية المجال الكمومي إن هو إلا نجاح شكلي تعبر بالضد منه مشكلة اللانهايات التي ذكرناها. وفي جوانب أخرى مثلاً في مسألة **التشاكه الكمومي** Quantum Coherence تبرز الصفات الكمومية على المقياس الماكروسكوبي Macroscopic Scale وهنا يصعب تحصيل الوصف الفيزيائي الكامل والإشتراطات الفيزيائية للظاهرة بدون وصف ذري حقيقي. لكن مثل هذا التخمين بحاجة إلى كثير من الجهد لإثباته برصانة كافية.

في كل الأحوال تم صياغة نظرية الجسيمات الأولية في جلها الأكبر اعتماداً على نتائج تجريبية وفي هذا الاطار الوضعي تكون النظرية قد أخذت منهجية ظاهراتية Phenomenological وهذه المنهجية كانت ولازالت أكثر توفيقا من المنهجية الاشتقاقية للنظرية. ومن الواضح أن التعامل المجالي هو السبب في ذلك المرض المزمن الذي تعاني منه نظرية المجال الكمومي، وهو بالتالي السبب في عدم تمكن نظرية المجال الكمومي من بناء صرح نظري موثوق كما هو عليه الحال في نظرية المجال الكلاسيكية. فكثيرا ما نلاحظ نظرية الجسيمات الأولية تنجح فينومنولوجياً عندما تتعامل في إطار الزمر محدودة العناصر Finite Groups بينما لا يحصل مثل هذا التوفيق عند التعامل بالصيغ المجالية التي توظف اللاغرانجيات والهاملتونيات بالصيغ التفاضلية أو التكاملية.

هيديكي يوكاوا

ولد في طوكيو عام 1907م، وتابع دراسته في جامعة كيوتو وأوساكا، قبل أن يصبح أستاذا عام 1939م في الفيزياء في جامعة كيوتو. قام بإلقاء الدروس في جامعات أوساكا، برينستون

وكولومبيا في الولايات المتحدة. أصبح يوكاوا عام 1953 م مدير لمعهد الأبحاث في الفيزياء الأساسية التابع لجامعة كيوتو. أدت بحوثه المكثفة في ميكانيكا الكموم والفيزياء النووية، عام 1935م إلى إقتراح وجود ميزونات تقوم بعملية الربط النووي بين أجزاء نواة الذرة. وقد استطاع العالمان سي. باول (C. Powell) وجي. أوتشياليني (G. Occhialin) عام 1946م عن طريق أعمالهما في مجال الإشعاعات الكونية أن يثبتا وجود الميزونات التي إقترحها يوكاوا فكوفئ على اكتشافه ذلك بمنحه جائزة نوبل للفيزياء سنة 1949 م. توفي يوكاوا عام 1981م.

النموذج القياسي للجسيمات الأولية

تابع فيزيائيو الجسيمات الأولية الكشف عن ما يظهر من جسيمات جديدة خلال عمليات التصادم التي تجري في مختبرات سيرن في جنيف وبروكهيفن وستانفرد وفيرمي لاب في الولايات المتحدة الأمريكية وغيرها من المواقع المهتمة بأبحات وتجارب الجسيمات الأولية. وخلال الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي جرى تدريجياً بناء نظرية الجسيمات الأولية وعرف الفيزيائيون أن هنالك أربعة أنواع رئيسية من القوى العاملة في الكون وهي:

القوة النووية الشديدة و القوى النووية الضعيفة والقوى الكهرومغناطيسية و القوى الجاذبية. ومن المعروف بل والبديهي أن تفاعلات الجسيمات مع بعضها أثناء تصادماتها يحصل من خلال عمل القوى الثلاثة الأخيرة إذ تكون قوة الجاذبية غالبا ضعيفة جداً ومن المعروف أن نسبة القوة الكهربائية بين الألكترون والبروتون إلى قوة الجاذبية الكتلوية بينهما هي 10^{40}. وهذا رقم كبير جداً. لذلك ركز الفيزيائيون في العالم الذري على القوى الثلاثة الكهرمغناطيسية والنووية الضعيفة والنووية الشديدة.

أراد فيزيائيو الجسيمات الأولية وضع نموذج نظري يفسر بنية العالم من هذه الجسيمات الأولية. وبعد أن تم الكشف عن بنية البروتونات والنيوترونات عبر ما سمي الكواركات Quarks فقد تم تصنيف الجسيمات الأولية إلى مايلي:

الكواركات وعددها ستة ويرمز لها:u،c،t،d،s، b وهي الكوارك العلوي Up والكوارك السفلي Down وكوارك القاع Bottom وكوارك القمة و كواك الفتنة Charm والكوارك الغريب Strange.

اللبتونات وعددها ستة هي الألكترون و الميوون و التاوون و نيوترينو الألكترون و نيوترينو الميوون و نيوترينو التاوون.

الجسيمات الرابطة وتسمى الرسولة Massenger وهي: $W^{\pm}$و Z^{0} و الفوتون و الغلوون Gluon الرابط بين الكواركات.

الهكزات وهي المسؤولة عن توليد الكتلة للجسيمات الأولية.

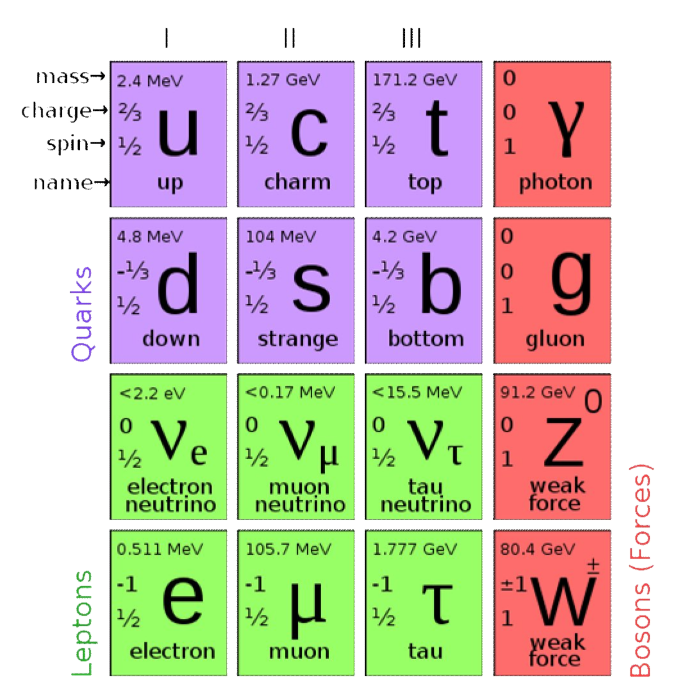
ويلاحظ أن مكونات العالم المادي من الجسيمات الأولية هي الفيرميونات ذوات البرم النصفي فيما تكون البوزونات هي الجسيمات الرابطة التي تؤلف بنية القوى. وهذا أمر جدير بالملاحظة ربما ينطوي على سر مهم من أسرار الخلق والتكوين. لذلك كانت الفيرميونات تتمثل بزمر مختلفة عن الزمر التي تؤلف البوزونات.

وكما قلنا آنفا فإن التحويلات التناظرية للزمر المختلفة تعكس خصائص مهمة على المستوى المجهري المؤسس لبنية العالم. وهي التي تتمظهر في الخصائص التناظرية للاغرانجي المعبر عن المجال. لكن علينا دوما أن نتذكر أن مثل هذه الصياغات متصلة على نحو وثيق بفرضية اتصالية

العالم وهي أمر لا يمكن ضمانته على المستوى المجهري بالحدود التي تتفاعل فيها الجسيمات الأولية.

لقد نجح النموذج القياسي للجسيمات الأولية في تفسير القوى الكهروضعيفة وتوقع وجود جسيمات $W^{\pm}$ و Z^{0} والتي تم اكتشافها بالفعل في أوائل الثمانينيات، إلا أنه لاحقته احباطات من جوانب أخرى.

لكن نظرية الجسيمات الأولية الممثلة بالنموذج القياسي لم تتوقف عند هذا الحد بل وجدت ضرورة التوسع على نحو يجعلها قادرة على تفسير خصائص أخرى من خصائص العالم فذهب إلى افتراض وجود جسيمات فائقة التناظر وهذا ما سنتحدث عنه بعد قليل.



الشكل (29) جسيمات النموذج القياسي عن Wikipedia



قواعد البناء: التناظر في بنية الكون

لم يكن عسيرا على الإنسان أن يدرك أن هذا الكون مبني على قواعد وأصول في هيئته وحركته. وربما كان القدماء أكثر وعياً منا اليوم بهذه الحقيقة فقد كانوا أقرب منا إلى السماء وكانوا أكثر تآلفا معها مما نحن عليه. ولربما كان أكثرهم يقضي ليله يتطلع في السماء متأملاً هذا النظام العجيب. فصار يتخيل في تجمعات النجوم المتلألئة هيئات عجيبة نسج حولها قصصاً جميلة كثيرة. فكانت حكاية الجبار والمرأة المسلسلة، وكانت حكاية البنات السبعة يحملون نعش أبيهم، وكانت حكاية سهيل والزهرة والملكين الذين هبطا ببابل هاروت وماروت. وكان القمر سابح بين هذه النجوم والكواكب يحجبها خلفه كلما مر قدّامها. فعرف الناس أن القمر أقرب أجرام السماء اليهم. ومع شمس الصباح كان الموعد اليومي لإشراقة النور الذي يبعث الحياة والدفء في أوصال الإنسان والحيوان والنبات. وهكذا كلما غابت شمس وأشرقت أخرى تجدد العالم كل يوم.

ومنذ بداية النصف الثاني من القرن التاسع عشر أدرك الفيزيائيون أن هنالك جملة قواعد أساسية يبدو أن بنية الكون تقوم عليها. ومن هذه القواعد:

1. مبدأ الفعل الأقل Principle of Least Action وهو الذي يقرر أن جميع الفعاليات الفيزيائية في الكون تتم بأقل قدر من تبادل الطاقة. وعلى هذا المبدأ تترتب ظواهر كثيرة وباستخدامه تمكن الفيزيائيون من ايجاد معادلات الحركة عبر تقنيات التغاير الأدنى.

2. التناظر تحت التغايرات المكانية والزمانية: Space-time Symmetry وهذا مبدأ آخر ذي أهمية كبرى في صياغة الكون، إذ بموجبه تتحقق قوانين الانحفاظ. فالتناظر تحت تغايرات المكان يؤدي إلى انحفاظ الزخم الخطي والزخم الزاوي والانحفاظ تحت تغاير الزمن يؤدي إلى حفظ الطاقة مثلاً. وقد اقتنع الفيزيائيون بمبدأ نويثر Noether الذي يقرر أن كل تناظر تحت تغاير معين يكشف قانونا من قوانين الانحفاظ في الطبيعة. بمعنى أن التناظرات هي التي تكشف عن علائق الأحوال المتغيرة للموجودات بعضها مع البعض الآخر.

3. مبدأ التغاير الأدياباتيكي Adiabatic Approximation وهو الذي يقرر أن حصول التغايرات الخارجية للنظام على نحو بطيء جداً لا يؤثر في تصرف العوامل الداخلية للنظام. ولهذا المبدأ عواقب كثيرة في الميكانيك الكلاسيكي والكوانتمي.

وهنالك قواعد ومبادئ أخرى عديدة تشكل أركاناً أساسية في البنية النظرية للكون. لكن ما يهمنا هنا هو مبدأ التناظر وكسر التناظر إذ تم بموجبه اكتشاف الكثير من خصائص العالم، ومنه خصائص الجسيمات الأولية.

التناظرات المعيارية

تقوم نظرية الجسيمات الأولية في تحديدها للخواص الأساسية للجسيمات أعني الشحنة والكتلة على مطلب تحقيق التناظر المعياري Gauge Symmetry. ومن المعروف أن نظرية معادلات ماكسويل الكهرمغناطيسية تحقق التناظر المعياري إذ ينحفظ المجال تحت هذه التحويلات. ولما كانت تفاعلات الجسيمات في أغلبها هي تفاعلات كهرمغناطيسية بوجه أو بآخر (خاصة عندما تكون الجسيمات مشحونة وتكون مسافات التصادم كبيرة نسبة إلى الأقطار الكمومية للجسيمات ممثلة بطول موجة كمبتن) فإن من الضروري مراعاة الانحفاظ تحت التغايرات المعيارية. وقد عرف منذ وقت مبكر أن الفوتون مثلاً هو جسيم معياري. وهكذا ذهب أساطين فيزياء الجسيمات إلى الاعتقاد أن بالامكان استنباط بنية الكون الجسيمية من خلال مطلب الانحفاظ تحت التغايرات المعيارية. وقد وجد أن إجراءات Operators هذه التغايرات تشكل زمر Groups رياضية لها قواعدها وخصوصياتها. وبالتالي وجد أن التعامل مع الزمر وتمثيلاتها المصفوفية يكون أسهل. لا بل أن الكشف عن زمر التناظر ربما أدى الى الكشف عن عناصر التوحيد في قوانين هذا الكون.

جدير بالذكر أن زمر التناظرات ذات الأهمية الخاصة في علم الجسيمات الأولية هي التناظرات التي تمثلها المصفوفات من نوع SU(2) و SU(3) و SU(6) و U(1). وفي نظرية القوة الكهرضعيفة تقوم الزمرة المركبة بواجب حفظ التناظر لمجال القوة هذه، أي أن المجال ينحفظ تحت هذه التحويلات.

إن أبسط صيغ التغيّر المعياري هو تغيير الطور الشمولي Phase Transformation الذي يمثله المعامل $e^{i\theta}$ ويمكن تقسيم التغايرات المعيارية إلى قسمين:

1. تغايرات معيارية شمولية Global Gauges والتي لا يكون فيها الطور θ معتمداً على شيء. وهذا ما يجعل المعيار بديهيا Trivial كما يقال.

2. تغايرات معيارية موضعية Local Gauges وهي التي تكون بالصيغة $e^{i\theta(x)}$ إذ فيها يعتمد الطور على إحداثيات النقطة. ومن الواضح أن هذا المطلب يعني فيزيائياً أن هنالك نوعا من التفاعل بين المجال والزمكان الممثل بالاحداثيات. وهنا نجد أن هذه التغايرات مختلفة نوعياً عن سابقتها إذا طلبنا انحفاظ النظام تحتها.

تتخذ نظرية الجسيمات الأولية من نظرية المجال الكمومي نولاً رئيسيا تنسج عليه. وهذا النول قام أساساً على نظرية المجال الكلاسيكية ذات الشكل والمضمون الاتصالي. ولغرض استيعاب ماذا يفعل نظريو الجسيمات الأولية نأخذ المثال التالي:

لنأخذ مجال ديراك النسبوي الذي يمثله اللاغرانجي

$$L = i\hbar c\bar{\psi}\gamma^{\mu}\partial_{\mu}\psi - mc^{2}\bar{\psi}\psi$$

حيث أن $\partial_{\mu} = \frac{\partial}{\partial x_{\mu}}$ وبقية الرموز معروفة.

واضح أن هذا اللاغرانجي لا يتغير تحت تأثير المعيار الشمولي $\psi \to e^{i\theta}\psi$ لكنه يتغير تحت المعيار الموضعي $\psi \to e^{i\theta(x)}\psi$ حيث نجد أن اللاغرانجي يصبح

$$L \to L - \hbar c(\partial_{\mu}\theta)\bar{\psi}\gamma^{\mu}\psi$$

ويمكننا أن نضع

$$\lambda(x) = -\frac{\hbar c}{q}\theta(x)$$

والآن لكي نجعل اللاغرانجي لا يتبدل تحت التحويلات المعيارية الموضعية فإن علينا أن نضيف الحد الذي ظهر مطروحا أعلاه. أي أن نجعل

$$L \to L + (q\bar{\psi}\gamma^{\mu}\psi)\partial_{\mu}\lambda$$

ومن خبرتنا مع التحويلات المعيارية فإن الحالة الأعم هي أن نكتب

$$L = \left[i\hbar c\bar{\psi}\gamma^{\mu}\partial_{\mu}\psi - mc^{2}\bar{\psi}\psi \right] - (q\bar{\psi}\gamma^{\mu}\psi)A_{\mu}$$

حيث أن

$$A_{\mu} \to A_{\mu} + \partial_{\mu}\lambda$$

هو العيار الذي أضفناه ويخضع للتحويلات المعيارية كما يلي

$$A_\mu \rightarrow A_\mu + \partial_\mu \lambda$$

وبالتالي فإن اللاغرانجي الجديد الذي حصلنا عليه من متطلب أن يكون مجال ديراك الأساسي لاتغيرياً تحت التحويلات المعيارية الموضعية قد أظهر لنا ضرورة وجود مجال متجهي (كهرمغناطيسي ربما) يمثله الحد المضاف أعلاه. لكن هذا يجعل الصورة منقوصة فيزيائياً فإن اللاغرانجي الجديد كأنه يمثل مجال ديراكي مشوه بالتالي ولكي نجعله يمثل لاغرانجي معبر عن مجال فيزيائي حقا فلابد من إضافة حد آخر يسمى الحد الحر Free Term وأقرب الصياغات من لاغرانجيات المجالات المعروفة توحي لنا بضرورة إضافة الحد

$$L = \frac{-1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu}$$

وهذا ما سيجعل اللاغرانجي الكامل يتخذ الصيغة التالية:

$$L = \left[i\hbar c \bar{\psi} \gamma^\mu \partial_\mu \psi - mc^2 \bar{\psi} \psi \right] + \left[\frac{-1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} \right] - \left[(q \bar{\psi} \gamma^\mu \psi) A_\mu \right]$$

وهكذا نجد أن متطلبنا أن يكون مجال ديراك الحر لاتغيرياً تحت التحويلات المعيارية الموضعية قد فرض علينا ضرورة وجود المجال الكهرمغناطيسي الحر. هكذا يكتشف الفيزيائيون النظريون أن متطلب الانحفاظ تحت التحويلات المعيارية الموضعية يكشف عن خواص المجالات والزمكان. وهي هنا تكشف لنا عن تفاعل مجال ديراك مع الزمكان. إن التحويلات المعيارية الموضعية إن هي إلا تحويلات زمكانية وبالتالي فإنها إذ تكشف عن المجال الكهرمغناطيسي فليس ذلك إلا لأن هذا المجال هو صفة للزمكان. فهاهنا كأننا طلبنا أن يتبع مجال ديراك الحركة

في الزمكان فكان أن كشف لنا التحويل المعياري الموضعي أن مثل هذه الحالة تتحقق بوجود مجال ماكسويلي عديم الكتلة، وهذا هو المجال الكهرمغناطيسي. وهكذا فإن كل التحويلات المعيارية الموضعية تنتج لنا مجال كهرمغناطيسي بشكل أو بآخر.

إن لهذه النتائج مضامين مهمة جداً إذ ينبغي أن نلاحظ أن المجال الكهرمغناطيسي عديم الكتلة ويتحرك على معارج زمكانية صفرية، والفوتون الذي هو كم المجال يمتلك برماً قدره واحد. وهنا ننتبه إلى حقيقة مضافة وهي تنبئ عن علاقة البرم بالجاذبية. فلماذا يكون الفوتون ذي برم 1 وليس ذي برم صفر، مثلاً؟ هل هنالك علاقة بين الزمكان والبرم؟

دور الكتلة

يلاحظ أن المجالات الكمومية المنحفظة تحت التحويلات المعيارية هي المجالات عديمة الكتلة فقط أما المجالات الكتلوية فلا تكون عادة منحفظة تحت التحويلات المعيارية. ولهذا السبب تسمى المجالات عديمة الكتلة كالمجال الكهرمغناطيسي بالمجالات المعيارية Gauge Fields. وهنا يبرز السؤال: هل يمكننا بتقنية ما تحويل المجالات الكتلوية إلى مجالات معيارية؟ إن هذا أمر مطلوب للتعامل مع المجالات النووية الضعيفة بخاصة. ويبدو أن الجواب هو: نعم. ولكن على حساب ماذا؟ إنه على حساب ما يسمى كسر التناظر. فالكتلة قد ظهر أنها عامل يكسر تناظر الخلاء ويظهر في اللاغرانجي كحد إضافي يكسر تناظر الخلاء. ربما يبدو هذا الكلام منطوياً على شيء من الألغاز، لكن المتفحص لمضامينه سرعان ما يكتشف عمق ما ينطوي عليه إلى جانب البساطة المباشرة في معانيه كما في الفقرة التالية.



بيتر هيكز

ولد في اسكتلندة عام 1929. قضى شطرا من مراحل دراسته في مدينة برستول جنوب انكلترة. حصل على البكالوريوس والماجستير والدكتوراه من كينكز كوليج بلندن. عمل في الكلية الجامعية بلندن وفي الكلية الامبراطورية هناك أيضاً ثم أنتقل للعمل في جامعة أدنبرة حيث عين مرساً للفيزياء الرياضية فيها. أحيل على التقاعد عام 1993 وهو الآن أستاذ متمرس في جامعة أدنبرة.

لم يكن بيتر هيكز علماً مشهورا وقد عُرف من خلال أبحاثه في نظرية الجسيمات الأولية إذ أنه هو الذي اخترع الآلية التي يمكن للجسيمات أن تكتسب من خلالها كتلها. هذه الآلية لم تزل غير محققة وقد ذاعت شهرة هيكز في السنوات الأخيرة بسبب أحداث المصادم الهادروني الكبير الذي ينتظر أن يكتشف الهكزات. ولازال بيتر هيكز والعالم كله ينتظر النتائج.

التناظر وكسر التناظر

إذا نظرنا إلى صفحة بيضاء ناصعة فإننا سرعان ما ندرك أن هذه الصفحة متناظرة مهما استدارت يميناً أو شمالاً. وهكذا نستنتج أن الصفحة متناظرة تماماً. لكننا لو وضعنا نقطة سوداء في موضع ما عليها فإننا سرعان ما سنكتشف أن تلك الصفحة لم تعد متناظرة، وهكذا نكون قد كسرنا التناظر.

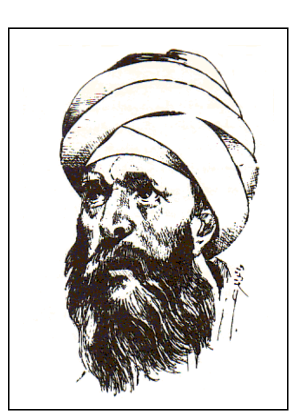
يفترض الفيزيائيون أن الخلاء Vacuum يُحقق أعلى حالة للتناظر. وهذا أمر منطقي إذ الخلاء لا يمثل حالة وجود بل هو الخلاء. لذلك فإن من المنطقي أن نفكر بأنه حالة متناظرة زمانياً ومكانياً من كل الوجوه. لكن ربما يقول البعض إن هذا كلام لا معنى له لأن معنى التناظر أساسا

يختفي في الخلاء. وهذا القول كان ليكون صحيحا لولا أن الفيزيائيين النظريين تمثلوا الخلاء كحالة لها وجود ممثلاً بالحالات المجازية Virtual States كما أسلفنا. ومن الناحية المنطقية يعني قولنا أن الخلاء المحض متناظر تماماً إنه يمكن أن يحتوي على كل شيء متوازناً دون أرجحية لمركَّب على آخر. بمعنى أن الخلاء يمكن أن يكون مصدرا لمُحدثات متوازنه حتى إذا ما جمعنا تلك المُحدثات حصلنا على الخلاء مرة ثانية. ويعرف الخلاء بأنه تأرجح المجالات المجازية حول الحالة الدنيا للمجال. وهنا ينبغي أن نتذكر أن الحالة الدنيا للمجال هي ليست الصفر بل شيء أكثر أو أقل لكنها ليست الصفر. وهذا هو تعريف فاينمان للخلاء.

ولذلك ينظر إلى عملية التخليق من عدم وكأنها عملية كسر للتناظر الشمولي. والسؤال الذي يطرح نفسه هنا هو: ما الذي يرجح عملية كسر التناظر؟ أليس من المنطقي أن يتوفر عامل ما يدفع إلى كسر التناظر؟ وإلا لماذا لا يبقى التناظر التام أبداً ويبقى الخلاء خلاءً؟

ربما نعجب حين نعلم أن القدماء عرضوا لهذه المسألة ضمن منطقهم وضمن تصوراتهم. فهذا أبو حامد الغزالي عملاق الفكر الإسلامي يتساءل في كتابه (تهافت الفلاسفة) عن ما إذا كان هنالك من ضرورة لوجود مرجح أدى إلى خلق العالم وخروجه من العدم إلى الوجود. وعموماً فإن أبا حامد لا يرى ضرورة لوجود مرجح طالما أن الإرادة الإلهية عنده هي التي قررت خلق العالم وإخراجه من العدم الى الوجود. وهذه الارادة هي التي أدت إلى كسر تناظر العدم إذ بها تم تمييز الشيء عن مثله. فهو يقول: "**إنما وجد العالم حيث وجد وعلى الوصف الذي وجد وفي المكان الذي وجد بالإرادة. والإرادة صفة من شأنها تمييز الشيء**

عن مثله ولولا أن هذا شأنها لوقع الاكتفاء بالقدرة"[68]. وهكذا يستمر أبو حامد في مناقشة مسألة كسر التناظر وضرورة، أو عدم ضرورة، وجود مرجح، أي عامل فاعل، يؤدي إلى وقوع كسر التناظر. وهو بالنتيجة يرى عدم مثل هذه الضرورة في خلق الكون، بل أن الارادة الإلهية هي العامل الذي أدى "رجح" كسر التناظر.



أبو حامد الغزالي

هو أبو حامد محمد بن أحمد بن محمد الغزالي الطوسي. واحد من عمالقة الفكر الإسلامي. ولد في قرية غزالة بخراسان عام 450هـ /1058م وعاش حياة قصيرة لكنها كانت عريضة غنية بالأعمال الفكرية العظيمة. تتلمذ الغزالي على يد إمام الحرمين أبي المعالي عبدالملك الجويني في نيسابور، ثم رحل الى بغداد حيث درس في المدرسة النظامية ردحا من الزمن، فذاعت شهرته في البلدان. لكنه تعرض الى نكسة نفسية مهمة غيرت من توجهاته الفكرية وجعلته يميل الى التصوف ومحاولة معرفة الحقيقة بالطريق الإلهامي الوهبي لا الطريق العقلي الكسبي. تشهد الدراسات الحديثة المعمقة والمنصفة على عبقريته وعقليته التي سبقت زمنه بكثير. قبل ألف عام كتب أبو حامد الغزالي في مسائل ذات تماس واضح مع مفاهيم ومسائل معاصرة. فقد كتب في مسألة حجم الكون وإمكانية توسعه أو انكماشه. وناقش في مفاهيم الزمان والمكان، واستخدم لفظ "البعد الزماني" وساواه مع "البعد المكاني". وناقض جالينوس في زعمه أن الشمس جسم أزلي لا يتعرض الى التغير والنقص، ورد دليل الأرصاد بهذا الشأن بكون الشمس جرم عظيم، والأرصاد على وقته لم تكن تعرف إلا بالتقريب، كما قال. كتب أبو حامد للفلاسفة وللمتكلمين وللعامة وللفقهاء الأصوليين وللمناطقة وبألسنتهم جميعاً، ثم كتب للمتصوفة وكان موسوعة فكرية عظيمة. توفي أبو حامد سنة 505هـ/1111م.

---

[68] الغزالي، تهافت الفلاسفة، ص22.

دعنا من تصورات وأفكار أبو حامد التي ما جئنا بها هنا لولا الشعور بالغبن الذي يلحق بتاريخنا الفكري إذ يغفل المؤلفون الغربيون والعرب المعاصرون، أعمال العرب والمسلمين العظيمة ويتركونهم ليعودوا إلى ديمقريطس وأفلاطون وأرسطو، وكأن ليس بين أولئك والنهضة الحديثة من تاريخ ولا حضارة.

على أية حال فإننا لو نظرنا إلى اللاغرانجي التالي:

$$L = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)(\partial^\mu \phi) + \frac{1}{2}\mu^2\phi^2 - \frac{1}{4}\lambda^2\phi^4$$

فقد نظن أن الحد الثاني هو الحد الذي يتضمن الكتلة؛ لأن المعتاد أن يكون معامل ϕ هو الكتلة وعلى هذا تكون μ هي الكتلة. لكن إعادة النظر في الصيغة تجعلنا نرى الإشارة الموجبة، وبالتالي فهذا يعني أن الكتلة لابد أن تكون خيالية لمثل هذا المجال. وهذا شيء غير مقبول ومناف للحس. لكن دعنا ننظر لذلك اللاغرانجي من منظور آخر: دعنا نعاود النظر إلى اللاغرانجي من منطق أساسي فبحسب التعريف الأساسي لأي لاغرانجي لابد أن يكون

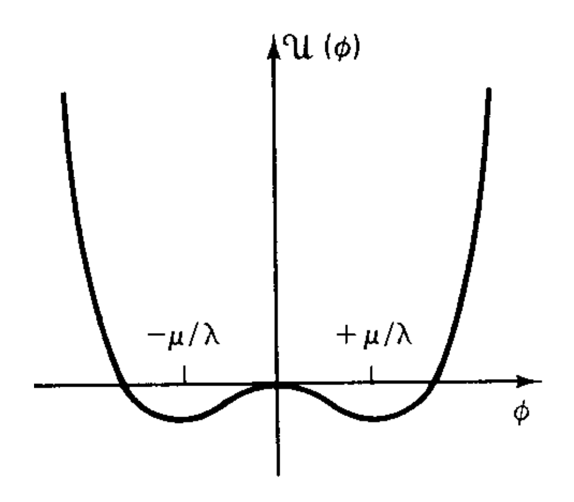
$$L = T - U$$

وهنا إذن يمكن أن تكون

$$U(\phi) = -\frac{1}{2}\mu^2\phi^2 + \frac{1}{4}\lambda^2\phi^4$$

وبموجب تعريف فاينمان فإن الخلاء هو الطاقة الصغرى الكامنة للمجال، ومثل هذا المجال إذا تصورناه ممثلا لجسيمات مجازية تتأرجح حول الحالة الدنيا (الطاقة الصغرى) فإن هذه الطاقة نحصل عليها عندما يكون

$$\phi = \pm\mu/\lambda$$



الشكل (30) رسم للكمون (الجهد) الذي يعبر عنه المجال العددي

والآن لو عرَّفنا متغيرا جديداً هو

$$\eta = \phi \pm \frac{\mu}{\lambda}$$

فإننا نحصل على اللاغرانجي بالصورة

$$L = \frac{1}{2}(\partial_\mu \eta)(\partial^\mu \eta) - \mu^2\eta^2 \pm \mu\lambda\eta^3 - \frac{1}{4}\lambda^2\eta^4 + \frac{1}{4}(\mu^2/\lambda)^2$$

الآن يكون معامل مربع المجال η قد أخذ الإشارة الصحيحة، وبالتالي فإن كتلة جسيمات هذا المجال هي

$$m = \sqrt{2}\mu\hbar/c$$

من المؤكد أن اللاغرانجي المكتوب بدلالة ϕ هو نفسه المكتوب بدلالة η وما قمنا به هو ليس إلا إعادة تعريف للمتغيرات لا أكثر.

نلاحظ أن اللاغرانجي الأول المكتوب بدلالة ϕ متناظر تماماً عندما نستبدل ϕ بـــ ϕ- لكن اللاغرانجي الثاني المكتوب بدلالة η غير متناظروذلك لإحتوائه على الحد المتناسب مع η^3. وهذا ما يسمى الكسر التلقائي للتناظر Spontaneous Symmetry Breaking. لاحظ أن الفكرة الأساسية، التي هي مربط الفرس هنا في المسألة ، هي افتراض أن الخلاء هو الحد الأدنى للمجال، وهذا الحد ما يُعرِّفه الكمون U. ومن الواضح أن هذا الكمون لا يشارك اللاغرانجي في تناظره، وهذا ما نقصده عندما نقول أن الكتلة تَكْسر التناظر. فالحد الذي كَسَرَ التناظر هو حدُ الكتلةِ.

لقد استثمر الفيزيائيون هذه الخاصية لأجل تحويل لاغرانجيات المجالات الكمومية بحيث تعطي سبباً لظهور الكتلة. وكان بيتر هيكز (1929-) الأسكتلندي واحداً من الذين عملوا بجد في هذا الموضوع خلال الستينيات من القرن الماضي. والحق أن يشيرو نامبو(1921-) الياباني كان قد مهد لهذا المنحى عبر نشره أبحاث قدمت بعض التقنيات الارشادية بهذا الصدد خلال النصف الثاني من الخمسينيات وبداية الستينيات. وقد توجه هيكز نحو اعتبار المجال كلاً معقداً ممثلاً بالدالة ϕ وقرينها المعقد. فكان عنده اللاغرانجي بالصيغة

$$L = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^* (\partial^\mu \phi) + \frac{1}{2}\mu^2 (\phi^* \phi) - \frac{1}{4}\lambda^2 (\phi^* \phi)^2$$

ثم طلب هيكز أن يتمتع المجال باللاتغيرية تحت التحويلات المعيارية الموضعية. وهكذا اتبع النهج السابق الذي عرضناه آنفاً لكنه أضاف

خطوات أخرى تتخلص بها من الحدود التي تحتوي على تفاعلات غير مرغوب فيها. ثم اختار معياراً معيناً يُركِّب علاقة مثلثية بين مُركبتي المجال ϕ_1 و ϕ_2 فحصل أخيراً على لاغرانجي صافي بالصيغة التالية

$$L=\left[\frac{1}{2}(\partial_{\mu}\eta)(\partial^{\mu}\eta)-\mu^2\eta^2\right]+\left[\frac{-1}{16\pi}F^{\mu\nu}F_{\mu\nu}+\frac{1}{2}\left(\frac{q}{\hbar c}\frac{\mu}{\lambda}\right)A_{\mu}A^{\mu}\right]$$

$$+\{\frac{\mu}{\lambda}\left(\frac{q}{\hbar c}\right)^2\eta\left(A_{\mu}A^{\mu}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{q}{\hbar c}\right)^2\eta^2\left(A_{\mu}A^{\mu}\right)-\lambda\mu\eta^3-\frac{1}{4}\lambda^2\eta^4\}+\left(\frac{\mu^2}{2\lambda}\right)^2$$

يشيرو نامبو



ولد عام 1921 في طوكيو باليابان وتخرج من كلية الامبراطورية اليابانية عام 1942 في تخصص الفيزياء. عين أستاذا مشاركا في الفيزياء بجامعة أوساكا عام 1949. ثم حصل على الدكتوراه عام 1952. وفي العام 1952 تمت دعوته الى معهد برنستون في الولايات المتحدة الأمريكية ثم انتقل للعمل في جامعة شيكاغو حيث عين هنالك أستاذا في الفيزياء عام 1954. تركز إهتمام نامبو على دراسة التحويلات المعيارية والكسر التلقائي للتناظر فضلاً عن ذلك فإنه يُعد واحداً من مؤسسي نظرية الأوتار. حصل نامبو على جوائز علمية عديدة كان آخرها جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2008 والتي رشحه اليها بيتر هيكز. وهو يعمل حاليا أستاذا متمرساً في الفيزياء بمعهد أنريكو فيرمي بالولايات المتحدة الأمريكية.

هذا اللاغرانجي يُعبِّر عن مجال عددي عديم البرم يتفاعل مع مجال كتلوي برمي (برمه 1)، ومن خلاله يكتسب هذا المجال كتلته. لقد سميت هذه الميكانيكية التي يكتسب بها المجال كتلته السكونية آلية هيكز Higgs Mechanism. وسميت هذه الجسيمات التي يصفها هذا اللاغرانجي جسيمات هيكز Higgs Particles. وقد دلت الدراسات اللاحقة أن هذه

الجسيمات ذات كتل كبيرة جداً تزيد على 130 مرة قدر كتلة البروتون وربما أكثر. والحق أن هذه التقديرات تخمينية وربما كانت الهكزات ذوات كتل أكبر. والهكزات جسيمات قصيرة العمر تتحلل سريعا إلى جسيمات أخرى أطول عمراً سنأتي على ذكرها لاحقاً.

التناظر الفائق والجسيمات الفائقة

ولهذا السبب بعينه يرى فيزيائيو الجسيمات أن خلق الجسيمات الأولى قد حصل عِبر كسر تناظر الخلاء. لكن إنحفاظ الخلاء نفسه يتطلب أن يتم خلق الجسيمات ونظيراتها الفائقة مثلما يتم خلق الشحنة السالبة مثلا وخلق نظيرها الموجب ليكون حاصل الشحنة صفراً. من هذا المنظور وجد منظروا النموذج القياسي للجسيمات الأولية ضرورة وجود تناظر فائق Supersymmetry يكون بموجبه لكل جسيم في عائلة الفرميونات التي برمها نصفي جسيما مناظراً في عائلة البوزونات التي برمها عدد صحيح (كلي). وعلى هذا فإن القول بالتناظر الفائق يتطلب مضاعفة عدد الجسيمات في النموذج القياسي. وهذه الجسيمات الجديدة التي يتوقع وجودها فيزيائيو الجسيمات لم تُكتشف بعد حتى الآن، رغم أنهم أسموها مسميات مناظرة لمقابلاتها وذلك بإضافة اللاحقة إينو على اسم الجسيم الأصلي ليحصلوا على اسم نظيره الفائق. فقالوا فوتينو نظيرا فائقا للفوتون وغلووينوا نظيرا فائقا للغلون وهكزينو نظيرا فائقا للهكز ونيوترالينو نظيرا فائقاً للنيوترينو. وقد شيد فيزيائيو الجسيمات الأولية عالما خيالياً كاملاً للجسيمات فائقة التناظر تحت اسم (النموذج القياسي الأصغر فائق التناظر)، وقد وضعوا لهذه الجسيمات قواعد وأصول

لتفاعلاتها ببعضها وبغيرها. كلها تبقى مرهونة باكتشافها عمليا في المصادمات الكبرى التي يجري انتظارها بفارغ الصبر، مثل المصادم الهادروني الكبير، خاصة وأن مشروع التيفاترون الأمريكي الذي يموله فيرمي لاب Fermi Lab لم يكشف عن وجود أي من هذه الجسيمات.

إن الذي دعى الى طرح فكرة وجود جسيمات فائقة التناظر هو اختلاف البرم بين الفرميونات والبوزونات، فالنظريون لم يتمكنوا من الاجابة عن سبب ظهور جسيمات ذوات برم مختلف إحداها برم نصفي، وهي التي تشكل بنية المادة مثل الألكترونات والبروتونات، والأخرى ذات البرم الكلي مثل الفوتون والميزونات والبوزونات المتجهة، وهي التي تشكل بنية القوى والطاقة.

لكن كل الآمال المعقودة على النموذج القياسي وما تبعه من تخمينات يُمكن أن يُظهر أنها كانت أشبه بأفكار نظرية (أفلاك التدوير) Epicycle Theory إذ أمضى الفلكيون ما يزيد على 1200 سنة وهم يرممون نموذج بطلميوس الذي يقول بمركزية الأرض في محاولات مستمرة دوؤبة من أجل التوفيق بين النظرية والأرصاد. وكلما فشلت محاولة ولجوا إلى محاولة أخرى، ولم يجرؤ أحد على هتك العقيدة البطليمية حتى جاء كوبرنيكوس[69](1473–1543). واليوم يبدو النموذج

---

[69] هذا لا ينفي وجود انتقادات مهمة وشكوك وجهها فلكيون مسلمون لنموذج بطلميوس ربما كان أنضجها انتقادات البطروجي الأندلسي وابن الشاطر الدمشقي واقتراحاتهم البديلة للنموذج البطليمي. لمزيد من التفصيل أنظر:

S. Kennedy, The life and works of Ibn Al-Shatier, University of Alleppo, Alleppo 1976; Studies in the Islamic Exact Sciences, American University of Beruit, 1983.

القياسي أشبه بنظرية أفلاك التدوير، إذ يحاول النظريون اقتراح ترقيعات نظرية تبدو عجيبة أحياناً. لكننا في كل الأحوال سنتبين حقائق كبرى بعد تشغيل المصادم الهادروني الكبير، سلباً أو ايجابا، ولن تذهب بلايين الدولارات التي صرفت عليه سدى.



ستيفن واينبرغ

ولد عام 1933 في مدينة نيويورك لأبوين يهوديين مهاجرين. حصل على البكالوريوس في الفيزياء من جامعة كورنيل عام 1954. غادر بعدها إلى معهد نيلز بور في كوبنهاجن، حيث عمل هناك لعام واحد، عاد بعده إلى جامعة برنستون في الولايات المتحدة الأمريكية وحصل على الدكتوراه منها عام 1957. عمل واينبرغ في جامعة كولومبيا لمدة عامين، ثم انتقل الى جامعة كاليفورنيا وعمل هناك حتى العام .1966 ثم انتقل للعمل في تكساس أوستن وحتى الآن. إشتغل واينبرغ في نظرية الجسيمات الأولية ويعتبر من جيل الرواد الذين أسسوا النموذج القياسي للجسيمات الأولية. حصل عام 1978 على جائزة نوبل بالاشتراك مع محمد عبدالسلام وغلاشو لجهودهم في توحيد القوة النووية الضعيفة مع القوة الكهرمغناطيسية. ومن المعروف أن واينبرغ شخص ملحد مصر على إلحاده، يجاهر بمعاداته للدين. لكنه من جانب آخر يؤيد إسرائيل ويدافع عنها متعامياً عن حقيقة أن دعوى إسرائيل هو إقامة دولة دينية لليهود، ومتعامياً أيضا عن الجرائم التي ترتكبتها بحق صاحب الأرض الشرعي الشعب الفلسطيني.

إن نجاح نموذج أو نظرية في ناحية أو نواحي متعددة وتقديمها تفسيرات ناجحة لبعض الظواهر لا يعني بالضرورة مطلق صحة ذلك النموذج أو تلك النظرية. فإن تاريخ العلم الحديث قد كشف لنا عن نظريات كثيرة حققت نجاحا باهرا في تفسير عدد من الظواهر، لكن تبين بالفحص الدقيق لا حقا أن تلك النظرية لم تستوف شروط مطلق الصحة والهيمنة التامة، بل تبين أنها تصف على الوجه الصحيح أحوالاً تقريبية للعالم وظاهره. وأكبر مثالين على ذلك نظرية نيوتن في الجاذبية وقوانينه

في الحركة التي تبين أنها صحيحة وتنطبق في عالم السرعات الواطئة والجاذبية الضعيفة، لكنها تخفق مع ظواهر السرعات العالية والمجالات الجذبية الشديدة. وكذلك كان الأمر مع نظرية ماكسويل في المجال الكهرمغناطيسي التي تبين أنها تتوافق مع الظواهر التي تكون تردداتها واطئة وتخفق في الترددات العالية والفائقة، إذ يتصرف المجال الكهرمغناطيسي على نحو كمومي. وهذا هو ديدن العلم الاستنباطي، إذ لا يستطيع أحدنا أن يجزم بأنه وقف على حقيقة العلم النهائية أبداً، بل العالم كل يوم هو في تجدد والنظريات في تغير مستمر. ولربما وصل النموذج القياسي إلى غايته ومنتهاه بوصفه توحيد القوى الكهرمغناطيسية والقوى النووية الضعيفة فيما عرف بالقوة الكهرضعيفة، وتحقيقه نجاحات طيبة هنالك، خاصة ونحن نعرف المخاض العسير الي خاضته محاولات التوحيد تلك إذ كانت النظرية غير قابلة للتقويم ثم عادت ونجحت محاولات التقويم على يد تهوفت 't Hooft وفلتمان Veltiman بعد أن تم تقويم مجال يانج ملز Yang-Mills Field في بداية السبعينيات من القرن الماضي. لذلك ينبغي أن نتواضع قليلاً أمام العالم وحقائقه. ومع إدراكنا وتقديرنا لمكامن قواتنا العقلية وقدراتنا الابداعية، لكن هذه القوى والقدرات لها سقف في كل عصر من العصور وهو يرتفع تدريجيا مع الزمن، لكن أحدا لا يستطيع القطع بأنه سيصل إلى نهاية ما دامت السموات والأرض، وما دمنا في هذا العالم الفيزيائي شبه الزماني. وهنا أورد ما قاله ستيفن واينبرغ عقب نجاح محاولات إيجاد القوة الكهروضعيفة:

"على الرغم من أن التناظرات مخفيه عنا إلا أننا نستشعرها في الطبيعة فهي تضبط كل شيء حولنا. وهذه هي الفكرة الأكثر إثارة حسب معرفتي: الطبيعة أسهل كثيرا مما يبدو. ولا شيء غير هذا يجعلني أتفائل بأن جيلنا نحن سيكون قادراً على

الامساك بمفتاح الكون ولربما كان بمقدورنا خلال فترة حياتنا أن نعرف لماذا يكون كل ما نراه في هذا الكون العظيم من المجرات والجسيمات واجبٌ منطقياً"[70].

وعلى الرغم من اختلافنا مع واينبرغ في ما إذا كان العالم بالصورة التي هو عليها واجباً أم ممكناً، إذ أن هذه مسألة فلسفية عميقة، فإنني أبقى أكثر تحفظاً على تفاؤله بشأن المدة التي ستقضيها البشرية بالفعل قبل أن تعرف ذلك. إذ يبدو أن الدكتور واينبرغ متفائل جداً حيال تقدم البشرية لمعرفة العالم واستكشافه. ولعلنا صرنا أكثر تواضعاً الآن إذ نعلم أن الإنسان مازال يجهل الكثير والكثير عن هذا العالم وتكوينه والقوانين التي تحكمه. وصدق الله العظيم إذ يقول (وما أوتيتم من العلم إلا قليلا). ولكن أقول عسى أن يهتدي واينبرغ وأمثاله قبل موتهم إلى معرفة أن الله خلق السماوات والأرض بالحق، أي بقانون. فهذه الإشارة نفسها ربما فتحت بصيرته لكي يدرك أن للكون غاية ولابد، والغاية هي هذا الإنسان يعرف نفسه ويعرف ربه بما أوتي من إمكانات وقدرات جزئية يتوسل بها إلى معرفة الكلي والمطلق.

---

[70] Nigel Calder, The Key to the Universe, BBC production, 1978.

٩

المصادم الهادروني الكبير

منذ تايكو براهي وغاليليو غاليلي صار علماء الطبيعة الأوربيون يحتكمون إلى التجريب والأرصاد. وقبلهم كان ابن الهيثم والبيروني وابن سينا قد اشتقوا طريق التجريب والقياس لحسم المقال في كل مسألة نظرية يجري الاختلاف عليها. حتى أننا صرنا نقرأ في مقالات الفلاسفة والمتكلمين المسلمين حججاً عملية تتخيل تجارب ذهنية ربما لم يجر تنفيذها في أرض الواقع.

ولحسم الموقف في نظرية الجسيمات الأولية وتخميناتها الكثيرة صار من الضروري التفكير بإجراء تجارب صدم الجسيمات عند طاقات عالية الهدف منها الكشف عن نواتج التصادم التي يعتقد أنها الكيانات المؤلفة أساسا لتلك الجسيمات. لهذا الغرض سعى الفيزيائيون الأمريكان إلى تصميم مصادم عملاق للجسيمات أطلقوا عليه إسم المصادم فائق التوصيلية الفائق SSC، بلغت كلفته أكثر من 10 مليار دولار، ويتألف من نفق تحت الأرض طوله مائتي ميل، أي مايزيد على 320 كيلومتراً. ومن المفترض بهذا المصادم العظيم أن يصل بطاقة البروتونات والبروتونات المضادة إلى 14 TeV.

وفي الوقت الذي فشل فيه الفيزيائيون الأمريكيون في اقناع حكومة بوش ببناء هذا المصادم العظيم، لأن تلك الحكومة على ما يبدو كانت ترى أن الانفاق على قتل وتشريد الشعوب أهم من الانفاق على التجارب العلمية، فقد نجح الفيزيائيون الأوربيون في اقناع حكوماتهم بالصرف على مشروع المصادم الهادروني الكبير وهو مشروع أصغر من المشروع الأمريكي والذي بلغت تكاليفه ما يزيد على 10 مليار دولار.

لقد عمل آلاف الفيزيائيين والمهندسين في هذا المشروع العملاق. وسيكون تشغيله حدثا تاريخيا عظيما وربما تأتي نتائجه بما يغير كثيراً من الرؤية العلمية النظرية وربما يصحح ذلك الكثير من المسارات البحثية.

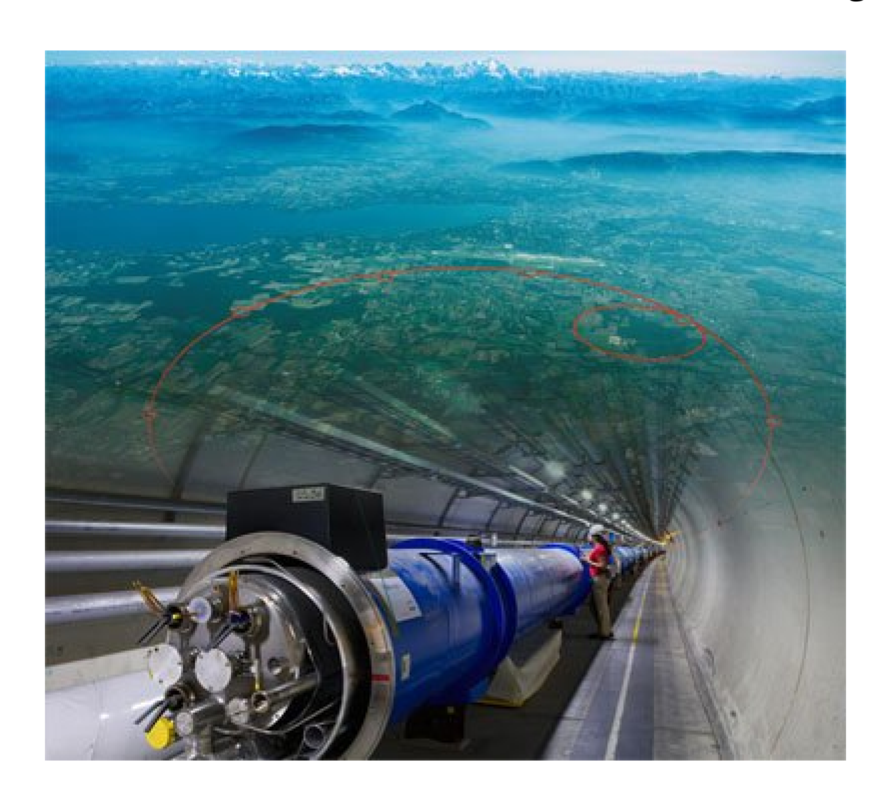
تم إنشاء المصادم الهادروني الكبير بهدف البحث التجريبي عن الجسيمات الأولى التي تكونت عنها الجسيمات التقليدية التي نعرفها. وأهم ما يراد اكتشافه هو تلك الجسيمات الثقيلة التي لا تظهر إلا لفترة قصيرة جداً من الزمن ثم تتحلل إلى جسيمات أخرى، تلك هي الهكزات التي طال انتظارها وتعبنا في البحث عنها. وكيما تكون التجربة بالفعل في نطاق الطاقات العالية التي تتناسب مع الكتل المتوقعة للهكزات كان لابد من التفكير بعملية صدم جسيمات ثقيلة نسبيا ومستقرة على نحو كبير. كما أن من الضروري أن تكون هذه الجسيمات مشحونة كهربائيا لكي يتم تسريعها ونتمكن من توجيهها في حلقة دوارة. وإلا إذا لم تكن مشحونة فإن من الصعب تسريها وتوجيهها. لذلك تم اختيار البروتونات فهي الجسيمات الأفضل التي بهذه الأوصاف. وعلى ذلك ولتحصيل أعلى كفاءة من التشغيل تم تصميم تجربة المصادم الهادروني الكبير لتكون مؤلفة من حزمتين من البروتونات تدوران باتجاهين متعاكسين في مسارين دائريين

وتُعجلان إلى سرعة كبيرة تقرب كثيراً من سرعة الضوء. ونظرا لأن الهكزات على قدر عال من الطاقة فقد طلب الفيزيائيون النظريون أن تكون طاقة التصادم الكلية أكثر من 14 TeV. لذلك تم تصميم المصادم لكي تصل سرعة البروتونات إلى ما يقرب من سرعة الضوء. وهذا ما يتطلب عملاً هندسيا علمياً جبارا على صعيد تصميم المسرعات الكهرمغناطيسية والمغانيط التوجيهية.

وكيما يتم التخلص من تأثيرات الأشعة الكونية والجسيمات السريعة القادمة من الفضاء فقد كان من الضروري أن تجري عملية تصادم حزمتي البروتونات تحت سطح الأرض بقدر كاف. ولذلك تم حفر نفق دائري تحت عمق حوالي 100 متر تحت سطح الأرض يبلغ طوله بحدود 27 كيلومتراً، وكان هذا عملاً هندسيا انشائيا شاقاً ومكلفاً فضلاً عن مخاطره. وكانت الضرورات التي ألجأت المهندسين إلى النزول إلى أعماق أكثر في بعض المقاطع أو الصعود إلى أعلى قليلاً تحاشيا لكتل صخرية أو مناطق رخوة أو غير ذلك. وهكذا فإن مسار النفق لم يكن على مستوى واحد.

يحتوي المصادم الهادروني الكبير عبر مساره على 9300 مغناطيس تعمل على توجيه حزمة البروتونات في مسارها الدائري. وجميع هذه المغانيط تعمل بكفائة عالية جدا تكاد تكون مثالية لأنها مصممة وفق متطلبات التوصيلية الفائقة. لذلك يتم تبريدها ابتداءً إلى درجة 193 تحت الصفر باستخدام النتروجيتن السائل ويتم ملئها بما يقرب من 60 طناً من الهليوم السائل الذي يهبط بالحرارة إلى حدود 271 درجة تحت الصفر. وخلال التشغيل الأولي للمصادم الهادروني في شهر أيلول من عام 2008 حصل تسرب للهليوم من أحد هذه المغانيط إثر ارتفاع درجة حرارته مما أدى

إلى تعطيل منظومة التبريد كلها وبالتالي توقف المصادم عن العمل لأكثر من سنة.



الشكل (31) نفق المصادم الهادروني الكبير

تدور البروتونات في حلقة المصادم الكبير بسرعة كبيرة تصل قريبا جداً (99.99%) من سرعة الضوء، وبهذا فهي تدور 11254 مرة كل ثانية. وعند هذه السرعة تكتسب حزمتي البروتونات طاقة كلية مقدارها 14TeV. وسيتم تحقيق 600 مليون تصادم في الثانية الواحدة، ولتحاشي حصول تصادمات بين البروتونات وجزيئات الهواء داخل المصادم يتم تفريغ مسار البروتونات من الهواء حتى يصير تحت ضغط واطئ جداً يبلغ 10^{-13} جو، وهذا ضغط حقاً ليس من السهل تحقيقه. عندما تتصادم

حزمتي البروتونات فإن نقطة التصادم ستبلغ حرارتها أكثر من 100000 مرة قدر حرارة باطن الشمس التي تبلغ أكثر من 15 مليون درجة. وقد قمت بحساب درجة الحرارة فوجدتها بحدود 10^{17} كالفن. لذلك تقول وسائل الاعلام ويصرح بعض الفيزيائيين الاعلاميين أن المصادم الهادروني الكبير سوف يعيد توليد لحظة الانفجار العظيم. لكن الحقيقة ليست كذلك بالضبط فإن حرارة الانفجار العظيم أعلى من هذه بكثير. وبالطبع فإن هذه الحرارة تتولد في نقطة صغيرة جداً وإلا يكون المصادم كله قد تعرض إلى التلف.

كواشف المصادم الهادروني الكبير

بنى الفيزيائيون والمهندسون كواشف دقيقة تلاحق الجسيمات الناتجة عن التصادمات بين البروتونات ملاحقة دقيقة حتى لا تترك شاردة ولا واردة إلا كشفتها وسجلت المعلومات عنها. وهذه الكواشف قادرة على ملاحقة الأزمنة حتى جزء من المليار من الثانية، وملاحقة الأمكنة حتى جزء من المليون من المتر. وهنالك أربع كواشف رئيسية عملاقة يتألف كل منها من مبان بعدة طوابق. كما يوجد إثنان من الكواشف أصغر حجما تتوزع على مسار المصادم الهادروني الكبير. وتوجد كثير من الكواشف الصغيرة موزعة على مسار الحزمة البروتونية.

الكاشف أطلس: ATLAS

وهو الكاشف الرئيسي في المصادم الهادروني الكبير ويشغل حيزا بحجم 46×25×25 متراً، وهو يقوم بكشف وحساب زخوم الجسيمات. ويحيط

بهذا الكاشف ما يسمى بالمسعر Calorimeter وهو يقيس طاقة الجسيمات الناتجة عن التصادمات من خلال امتصاصها. كما يُمكن للباحثين أن يتابعوا مسارات الجسيمات أيضاً في هذا الكاشف. ويشتمل الكاشف أطلس على مطياف ميووني يقيس زخوم الميوونات على وجه الخصوص، وهذه الجسيمات مهمة في هذه التجربة كونها متوقعة كنواتج لتحلل الهكزات. ومن المفيد أن نعرف أن هذا الكاشف سيسهم في البحث عن جسيمات المادة المظلمة والتي يعتقد أنها ربما تكون فائقة التناظر.

الكاشف سي إم إس CMS

وهذا كاشف آخر يتخصص بالكشف عن الجسيمات الناتجة عن التصادمات بين حزمتي البروتونات. وهذا الكاشف موضوع داخل ملف كبير جداً، يولد مجالاً مغناطيسيا أقوى من المجال المغناطيسي الأرضي بمائة ألف مرة. وهذا الكاشف أيضاً سيسهم في البحث عن جسيمات المادة المظلمة.

والكاشف الكبير الثالث هو **أليس** ALICE

وهذا الكاشف يختص بتجربة أخرى من التجارب المزمع إجراؤها وهي تجربة تصادم أيونات الحديد ببعضها. وكما هو معروف فإن نوى ذرات الحديد متماسكة أشد التماسك وفيها بأس شديد إذ أن الطاقة النووية لكل نيوكليون فيها التي تحويها هذه النوى هي الأعلى بين نوى العناصر. ويتوقع الفيزيائيون تحصيل حساء من الجسيمات الكواركات والغلوونات. وهنا نحصل على حالة للمادة هي كما كانت عليه في بداية خلق الكون. وضمن هذا الكاشف يوجد أيضا مطياف ميووني آخر.

أما الكاشف الرابع من كواشف المصادم الهادروني الكبير فهو ما يسمى **الكاشف الجمالي** LHCb والهدف منه الكشف عن المادة المضادة ومعرفة السبب في عدم تناظر المادة والمادة المظلمة، إذ به يسعى الفيزيائيون للكشف عن ما يسمى كوارك الجمال beauty quark وهي جسيمات سريعة التحلل.

بدأ تشغيل المصادم الهادروني الكبير يوم الأربعاء الموافق 10 أيلول 2008، وكان هذا الحدث قد احيط بتغطية إعلامية مسبقة واسعة مما جعل الكثير من الناس العاديين يهتمون بهذا الحدث الكبير، خاصة وأن بعضهم كان معترضاً على انفاق المال العام في مثل هذه المشاريع. ومما يؤسف له أن بعض الفيزيائيين استهوته الدعاية والنجومية فصار يصرح أن تصادم حزمتي البروتونات في المصادم الكبير ستكون أشبه بلحظة الانفجار الكوني العظيم، بينما صرح آخرون أن المصادم الكبير ربما أنتج ثقوب سود تقوم بابتلاع الأرض بمن عليها وبالتالي ربما يكون اليوم الذي تتصادم فيه حزمتي البروتونات هو اليوم الأخير في حياة الأرض!! وهذا ما دعى أحد الناس لرفع شكوى أمام المحاكم الأمريكية يطلب فيها وقف الجهود المبذولة في المشروع ومنع تنفيذ التجربة. كما قام بعض المجهولين بارسال رسائل تهديد إلى علماء بارزين من العاملين في المشروع وربما هدد بعضهم بالقتل. كما جرت بعض المساجلات الصحفية في لقاءات مع فيزيائيين بارزين مثل ستيفن هوكنج وبيتر هيكز. ومن المؤسف أن تستغل مثل هذه المناسبات للدخول إلى سجالات غير موفقة ولا تتفق مع أخلاقيات العلماء. ولقد أعجبني موقف بيتر هيكز عندما سئل عن ما إذا كان يتوقع أن يحصل هو على جائزة نوبل بعد

تجربة المصادم الكبير فقال: "**ربما سيمضي وقت طويل قبل أن يتأكد الفيزيائيون من صحة توقعاتي، لكنني أجد أن من يستحق الجائزة الآن هو نامبو الذي قدم الكثير من الأعمال العلمية التي أنارت طريق الأبحاث في هذا المجال**". وكم كان عملاً عظيما أن تلتفت لجنة جائزة نوبل في الفيزياء لهذا الكلام فتوصي بمنح نامبو جائزة نوبل في الفيزياء عام 2008. ما أجمل تواضع العلماء وما أصدق إيثارهم.

من المؤسف أن المصادم الكبير تعطل بعد بضعة أيام من تشغيله وأصيب بضرر كبير نتيجة انصهار بعض المغانيط التي تعمل بالموصلية الفائقة مما أدى إلى تسرب سائل الهليوم بكميات كبيرة وألحق المزيد من الضرر بهذا الصرح العظيم. وقد تم اصلاح العطل وياشر المصادم الكبير تشغيله نهاية عام 2009.

هل سيحل المصادم الهادروني الكبير مشكلات نظرية الجسيمات الأولية؟ وهل سيكشف عن الأسرار التي تختفى وراء البنية المؤسسة لعالم الجسيمات الأولية؟ هل سيكشف عن أسرار الكتلة وكسر التناظر؟ وهل سيأتي بما يتوافق مع التوقعات أم بما يتناقض مع التوقعات؟ إن أنظار فيزيائيي الجسيمات الأولية معلقة على المصادم الهادروني الكبير، وربما كان ستيفن واينبرغ هو من أكثر المتشوقين لمعرفة النتائج. والجميع يأمل أن يتم الكشف عن إشارات ربما غير مباشرة تشير إلى وجود الهكزات وبالتالي يتم التحقق من آلية هيكز لتوليد الكتلة. لكن توقعات أخرى تأمل أن يتم الكشف عن متغيرات أخرى ربما أسهمت في حل إشكالات النموذج القياسي منها جسيمات فائقة التناظر.

10

حول نظريات التوحيد في الفيزياء

توحيد قوانين العالم جزء مهم من اكتشاف سر الوجود وصيرورة الكون ومعنى العدم. لذلك دأب الباحثون منذ فجر المعرفة على التأمل في العالم من أجل اكتشاف العناصر المؤسسة لظواهره وعلاقاتها ببعضها. وفي العصر الحديث ومع نشوء العلم الحديث كان نيوتن أوّل من وحد قوانين العالم العلوي والعالم السفلي في قانون الجذب العام. فكان من ثمراته أن عرفنا كيف نحسب حركات السماء لآلاف من السنين القادمة. ثم كان ماكسويل أول من وحَّد بين الكهربائية والمغناطيسية في العلاقات المؤسسة للمجال الكهرمغناطيسي. فكان من ثمراته كل هذه التقنيات الألكترونية وتقنيات الاتصالات التي نتمتع به. وكان ألبرت أينشتاين أول من وحَّد بين الكتلة والطاقة، فكان من ثمرات عمله كل هذه الطاقة النووية التي تنعم منها مئات الملايين من الناس في نواح شتى منها الكهرباء الرخيصة. واليوم يتطلع العالم إلى توحيد القوى الطبيعية الأربعة لكي ينفتح على عوالم جديدة خاصة وقد تمكن من توحيد بعض القوى مع بعضها الآخر.

نظرية أينشتاين

قضى ألبرت أينشتاين مدة تزيد على ثلاثين سنة من عمره محاولاً توحيد الجاذبية مع القوة الكهرمغناطيسية. ولربما كان هذا الطموح يستحق كل ذلك الجهد الذي بذله الرجل ولكن دون أن يصل إلى نتيجة ذات قيمة عملية. فمن المعروف أن الرجل كان يعتقد أن نظريته في المجال الجاذبي والتي وجدت وصفاً هندسياً للمجال قد مكّنه من الكشف عن أسرار لم تكن معروفة من قبل. فهو قد عرف نوسان مدارات الكواكب وعرف تباطؤ الزمن بتأثير المجال الجاذبي وعرف انحراف الضوء بتأثير المجال الجاذبي على نحو دقيق يختلف عن ما تقرره نظرية نيوتن. كان أينشتاين يحب أن يرى المجال الكهرمغناطيسي مكتوباً بلغة تحدبات الزمكان. وعندئذ كانت الشحنة الكهربائية ستتخذ مدلولاً هندسياً وكانت المغناطيسية ستتخذ وصفاً هندسياً. وعندئذ تسهل معرفة تفاعلات الجسيمات الأولية ويعاد بناء التفاعلات الذرية على نحو ربما يغير تماماً من ميكانيك الكموم ولا حتميته السقيمة التي كرهها أينشتاين. فمنذ العام 1925 بدأ أينشتاين نشر الأبحاث حول قضية توحيد المجالين الجاذبي والكهرمغناطيسي. وكان أولها البحث الذي نشره في مجلة الأكاديمية البروسية للفيزياء والرياضيات[71]. ثم اعقب ذلك بحوثا عديدة كان آخرها البحث الذي

[71] A. Einstein, Einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin), Physikalisch-mathematische Klasse, 414–419, 1925.

عنوانه صياغة جديدة لمعادلات المجال النسبوي العام[72] الذي نُشر سنة وفاته في العام 1955. ويقال في أدبيات تاريخ ألبرت أينشتاين أنه انعزل عن الوسط الفيزيائي خلال العشرين سنة الأخيرة من حياته.

فيما أرى فإن نظرية ماكسويل في المجالات الكهرمغناطيسية هي أساساً نظرية ظاهراتية. بمعنى أنها جاءت من التجربة توصيفا لنتائج التجربة. إذ هكذا كانت حينما تواصل التصور الرياضي الماكسويلي مع التصور الوصفي لفاراداي. وعلى هذا قامت التصورات النظرية التي تلت للمجال الكهربائي والمجال المغناطيسي. ومجمل محتوى الألكترودايناميك هو حساب تغير هذه المجالات في الزمكان من خلال حساب الكمون القياسي Scalar Potential والكمون المتجهي Vector Potential. ومنها يتم حساب تعدد القطبية Multipole الكهربائية أو المغناطيسية ويتم حساب الطاقة التي يحتويها المجال والتي يعبر عنها متجه بوينتنج Pointing Vector. وربما تطلبت المسائل حساب الزخوم الزاوية أو حساب مركبات ممتد الطاقة ــ الزخم. لكن بعد كل هذا تبقى النظرية مؤسسة على تصور ظاهراتي كما هو الحال في نظرية نيوتن للجاذبية، إذ لا يوجد مضمون زمكاني للمجالات. الشئ الوحيد الذي يتصل بالزمكان هو سرعة انتقال المجال الكهرمغناطيسي هذا المقدار الذي يعبر بشكل أو بلآخر عن ترابط المجالات الكهربائية والمغناطيسية. هذا المقدار الذي يشير عندي إلى صلة المجال الكهرمغناطيسي بالزمكان. فهو هاهنا تعبير عن حقيقة أن المجال الكهرمغناطيسي هو صفة للزمكان وليس بالضرورة للمادة نفسها. أو على نحو أدق يمكن القول أن المجال الكهرمغناطيسي هو خاصية

[72] A. Einstein, A New Form of the General Relativistic Field Equations, *Annals of Mathematics*, **62**, 128–138, 1955.

للخلاء Vacuum. ما يؤيد ذلك أننا نجد في المنظور النسبوي العام أن المجالات الكهرمغناطيسية تنتقل دوماً عبر معارج صفرية Null Geodesics. بالتالي ربما أمكن القول أن المجال الكهرمغناطيسي هو نتاج لتفاعل الزمكان مع الخلاء. وربما أمكننا تعميم هذا للقول بأن جميع المجالات المادية Matter Fields هي نتاجات لتفاعل هندسة الزمكان مع الخلاء. لهذا السبب نجد أن المجلات أو على نحو أدق الكموم المادية تتخلق عند وجود تحدب كاف للزمكان يحول تذبذبات الخلاء المجازية Virtual (الكموم المجازية) إلى كموم حقيقية Real. وهذا يعني أن الوجود والعدم كلاهما مرتبط بطبوغرافية الزمكان. على أننا ينبغي أن نشير إلى حقيقة أن الخلاء هو الآخر تعبير عن تسطح الزمكان. بالخلاصة يتمخض القول لدينا هنا إلى نتيجة مفادها أن توحيد الجاذبية والكهرمغناطيسية يقتضي، بشكل أو بآخر، "زمكنة" الكهرمغناطيسية.

مما لا شك فيه أن أمل توحيد قوانين الفيزياء وتوحيد ظواهر العالم وردها إلى صيغة أساسية واحدة هو أمل مشروع، إلا أن من تاريخ العلم يعلمنا أن من غير المتوقع أن يتم التوصل إلى التوحيد العام في وقت قصير. والعلم لازال جنيناً يحبو، وأمامنا الكثير مما ينبغي أن نتعلمه فلازالت فيزيائنا غير متجانسة ولا زالت معلوماتنا قاصرة ولازلنا بعدين عن أن نؤلف فيزياءً صحيحة بالمعنى المطلق. وما لم نمتلك فيزياءَ صحيحة بالفعل فلن نتمكن من توحيد قوانين الفيزياء. وهنا أعني بالفيزياء الصحيحة ما هو في واقع الظاهرة الطبيعية حقيقة وليس ما هو في واقع منطقنا وتصورات عقلنا التي ربما تكون جملة من الأوهام نتحزر بها واقع الظواهر الطبيعية.

نظرية هرمان فايل

وهذه المحاولة جرت قبل محاولات أينشتاين وفيها قام الرياضياتي الألماني هرمان فايل H. Wiyle (1885–1955)، وهو تلميذ هلبرت، بفرض مجال متجهي إلى جانب الممتد القياسي $g_{\mu\nu}$ وهكذا حاول أن يحصل على معادلات مجال موحدة. وقد استخدم فايل فكرة المجال المعياري Gauge Field في محاولته تلك. إذ انه حاول صياغة نظرية موحدة للكهرمغناطيسية والجاذبية تستخدم نوعا جديداً من الهندسة اللاإقليدية واللاريمانية سميت هندسة فايل اللاتبادلية. وكان لها فيما أرى محتوى فيزيائي ورياضي عميق إلا أن نظرية فايل التوحيدية واجهت نقداً على أساس أنها لم تمتلك المضمون الفيزيائي المقبول ذلك أنها تفضي إلى نتائج غير معقولة بشأن الظواهر الفيزيائية. وكان ألبرت أينشتاين أول من وجه النقد إلى هذه النظرية على الرغم من جمالها.

إن المتأمل في هندسة هرمان فايل ليحس بأن هنالك شيء ما مخفي في هذه النظرية ربما كان ذا مضمون علمي كبير، وهذا هو سر الاعجاب الذي يتملك من يدرس تفاصيل هذه النظرية ويدقق في نتائجها الرياضية. لكن من جانب آخر يجد المتأمل أن هنالك دوماً نوعاً من الغموض الذي يتصل بجوانب اساسية من فروض النظرية وبتطبيقاتها خاصة وأن هرمان فايل نفسه لم يستطع دحض تحفظات أينشتاين حول أطروحته التي نشرها عام 1919. ولربما كانت رؤية فايل بحاجة إلى استكمال أو تعديل لكي تكون صحيحة وشاملة. هنالك شئ ما بالضرورة هنا بحاجة إلى تكملة.

هرمان فايل



رياضياتي ألماني ولد عام 1885م درس الرياضيات وعمل تحت إشراف الرياضياتي الشهير هلبرت في جامعة جوتنجن. أبرز مساهماته في الرياضيات والفيزياء نظريته الشمولية في ابداع هندسة لاريمانية حاول من خلالها توحيد المجالين الجاذبي والكهرمغناطيسي، لكنها وللأسف جاءت على مايبدو بنتائج غير مرضية على الصعيد الفيزيائي وفي العام 1929 اقترح فايل تفسيرات مجالية أخرى لهندسته تقع في جانب ميكانيك الكموم ومعادلات الحركة الكمومية النسبوية. لكن النظرية بشكل عام لم تقدم تفسيرا واضحاً للظواهر الفيزيائية ذات العلاقة بل يمكن القول أنها تعاني من نوع من عدم الاتساق الداخلي. توفي وايل في زيورخ عام 1955 وهو نفس العام الذي توفي فيه أينشتاين.

نظرية كالوتزا وكلاين

إلى جانب ذلك كانت هنالك محاولة من قبل الألماني ثيودور كالوتزا Kaluza لتوحيد القوة الجاذبية والقوة الكهرمغناطيسية[73]. وقد افترض أن هنالك أربعة أبعاد مكانية وبعد زماني خامس، لذلك فإن فضاء كالوتزا خماسي الأبعاد. وقد استخدم كالوتزا مجالاً متجهاً أيضاً. وكان هدفه التعبير عن المجال الكهرمغناطيسي ومفرداته بدلالة مفردات الفضاء الهندسية. وبالفعل أثمرت هذه المحاولة في تقديم بعض الأوصاف الهندسية للشحنة مثلاً ولكنها أخفقت في تقديم صور شاملة عن توحيد الجاذبية والكهرمغناطيسة في مجال واحد. ثم بعد ذلك قام أوسكار كلاين

---

[73] Kaluza, Theodor, "Zum Unitätsproblem in der Physik". *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin. (Math. Phys.)*: 966–972, (1921).

Klien بتطوير نظرية كالوتزا في نهج تضمن توجهاً كمومياً وسميت بعدها نظرية كالوتزا ـ كلاين.



ثيودور كالوتزا

فيزيائي ورياضياتي ألماني ولد عام 1885 لعائلة كاثوليكية. كان يتقن 17 لغة أحبها إلى نفسه بحسب ما يقول هي اللغة العربية. عمل أستاذا للفيزياء في جامعتي كييل وكوتنجن. أبرز ما أنجزه علميا هو محاولته للتوحيد بين الجاذبية والكهرمغناطيسية متخذا الفضاء الخماسي الأبعاد مسرحا لهذه النظرية. كما عمل في نمذجة نوى الذرات ومسائل ميكانيك الكموم. توفي عام 1954 في مدينة زيوريخ بسويسرا.

وتتوفر محاولات أخرى على صعيد التعامل مع المجال الجاذبي والمجال الكهرمغناطيسي بصفتها الكلاسيكية. ولكن تبقى نظرية كالوتزا ـ كلاين محط الاهتمام لأنها تقدم وصفاً هندسياً للكهرمغناطيسية وهو أمر مهم إذا نظرنا إلى الموضوع من زاوية النظر الكلاسيكية وفق إطار نظرية النسبية العامة.

نظريات التوحيد الجديدة

تتطلع نظريات التوحيد الجديدة التي رَشَحَت عن النموذج القياسي للجسيمات الأولية إلى اجراء التوحيد على مراحل، فخلال الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي عمل العديد من الفيزيائيين النظريين باتجاه توحيد القوى الأساسية الأربعة. والقوى الأساسية الأربعة حسب شدتها هي:

القوة النووية الشديدة: وهي التي تجمع الكوراكات إلى بعضها لتأليف الجسيمات الأولية، وجسيماتها الرسولة هي الغلوونات ذوات البرم 1.

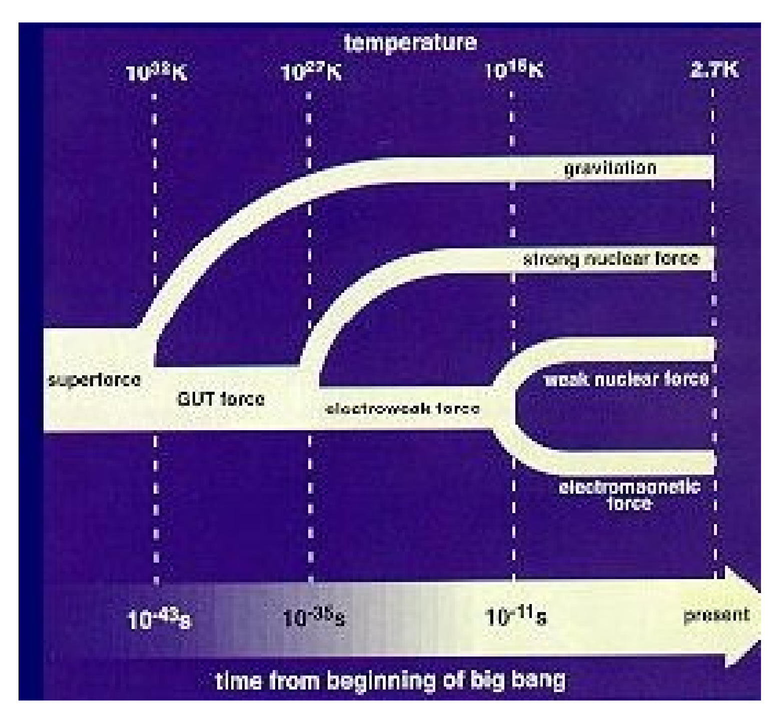
القوى النووية الضعيفة: وهي التي تجمع أجزاء النواة إلى بعضها وهي المسؤولة بالتالي عن النشاط الاشعاعي.

القوى الكهرمغناطيسية: وهي التي تجمع المجالين الكهربائي والمغناطيسي إلى بعضهما وجسيمها الرسول هو الفوتون ذي البرم1.

القوى الجاذبية: وهي التي تجمع أجزاء الكون على المستوى الماكروسكوبي (النجوم والمجرات) إلى بعضها وجسيمها الرسول بحسب فيزيائيي الجسيمات الأولية هو الجسيم المفترض، الغرافيتون ذي البرم 2.

وقد كان شيلدون غلاشو (1932-) وجد بداية الستينيات من القرن الماضي فكرة ابتدائية لتوحيد القوى النووية الضعيفة مع القوى الكهرمغناطيسية. ثم استثمر كل من محمد عبد السلام (1926-1996) وستيفن واينبرغ (1933-) الفكرة مستخدمين آلية هيكز لتوليد الكتلة كنتيجة لما يسمى كسر التناظر التلقائي، وحصلوا على لاغرانجي موحد لكلا القوتين والذي عرف باسم القوة الكهرضعيفة Electroweak Force. وفي العام 1973 تم تحصيل بعض النتائج التجريبية التي تؤيد وجود تيار كهرضعيف مما دعم التوحيد المقترح. وبهذا حصل الثلاثة غلاشو وعبد السلام وواينبرغ مشاركة على جائزة نوبل في العام 1979. ولكن بقي اكتشاف الجسيمات الرسولة التي تحمل القوة الكهرضعيفة وهي الفوتون وجسيمي W المشحونين والجسيم المتعادلZ . وفي العام 1983 اكتشف كارلو روبيا وفريقه هذه الجسيمات في سيرن وحصل على جائزة نوبل في العام التالي 1984.

وقد نسج آخرون على هذا المنوال في سعي لتوحيد القوة النووية الشديدة مع القوة الكهرضعيفة. ولهذا الغرض اقترح غلاشو وهوارد جيورجي في العام 1974 نظرية التوحيد الأعظم Grand Unification Theory. لكن النظرية لم تزل عصية على الاختبار بسبب الطاقة العالية التي يتطلبها توليد مجال موحد من هذا النوع. وقد حاول البعض اختبار ما تتنبأ به النظرية من أن البروتون يجب أن يكون جسيماً غير مستقر، إذ يتحلل في زمن طويل جداً قدره 10^{32} سنة. لكن التجارب لم تكشف عن تحلل بروتون واحد حتى الآن. وهذا ما يضع شكوكاً حول النظرية أو بعض جوانبها.



الشكل (32) وحدة القوى الطبيعية الأربعة

إن ما يعتقده النظريون هو أن القوى الأربعة كانت متوحدة عند البدايات الأولى لنشأة الكون. فعن التوحيد خرج هذا الكون المتنوع. وخلال تطور الكون تفككت تلك القوى عن بعضها والشكل (32) يوضح القصد[74].

لقد اندفع الفيزيائيون النظريون في الثمانينيات خلف التوحيد، وكالعادة هللوا وطبلوا لاكتشاف الجسيمات المؤلفة لمجال الكهرضعيفة، وظنوا أن نظرية التوحيد الأعظم قد صار قاب قوسين أو أدنى منالمنال. لكن فشل رصد تحلل البروتون أحبطهم فخف اللغط وهدأت الطبول الاعلامية إلى حين.

أعتقد أن ما تحتاجه جهود التوحيد هو النظر ببصيرة فيزيائية إلى المسألة وعدم الاقتصار على التجارب الرياضية فقد أشبعت المسألة تجاربا ومحاولات منذ انكفأ أينشتاين ثلاثين سنة متصومعا يبحث في توحيد الجاذبية والكهرمغناطيسية. إلا أن المسألة فيما أرى بحاجة إلى تأمل فيزيائي. فما الذي يمكن أن يوحِّد الجاذبية والكهرمغناطيسية؟ أولاً يجب أن نتذكر أن كلاهما ذي مدى لا نهائي. كما يجب أن نتذكر أن الكهرمغناطيسية أقوى في ثابت الربط Coupling Constant كثيراً من قرينتها الجاذبية. ونتذكر أيضاً أن سرعة الكهرمغناطيسية هي سرعة الضوء. وبحسب نظرية النسبية فإن سرعة الجاذبية هي سرعة الضوء أيضاً. الجاذبية وفق وصف أينشتاين هي شبكة الزمكان وهذه الشبكة تكون مستوية في الفضاءات الخالية من الكتلة على حين تتحني حول

---

[74] الشكل مأخوذ عن: www.geocities.com/.../FundamentalForces.html

أنطقة تواجد الكتل ولذلك صار إنحناء المعارج الزمكانيـــة Spacetime Geodesics دليلاً على وجود الكتل[75].

إن المتأمل في ما ذكرناه من الحقائق ليجد أن الكهرمغناطيسية هي صفة للزمكان، ولقد كان توحيد الكهرباء مع المغنــاطيس ســهلاً لأن كليهمــا يخضع لنفس الصفات ويحتل نفس الوعاء، وعاء الزمكان. وأحدهما على الحقيقة (الكهرباء) شبه زماني والآخر (المغناطيس) شبه مكاني، وبالتالي كان لابد أن ينتج عن توحيدهما أن تكون مسارات القوة الكهرمغناطيسية هي نفسها معارج الزمكان الصفرية Null Geodesics. وعنــدها تكــون المسافة الزمكانية صفراً. هذا يعني أن الضوء (الكهرمغناطيس) هو مثل قطار يسير على سكة هي معارج الزمكان (الجاذبية). وبالتالي فإن توحيد الكهرومغناطيس مع الجاذبية يعني توحيد القطار مع الســكّة. وعنئــذ لا يكون قطار ولا سكة. بل القطار هو السكة والسكة هي القطار. وحــين يكون ذلك يصل القطار إلى غايته في لا زمن، فهو في أول السكة وهــو في آخرها. ومن هذا المنطلق أرى أن القوة التي تربط الكون كله ببعضه من أقصاه إلى أقصاه هي القوة الموحدة للجاذبية مــع الكهرمغناطيســية. وحين نتعرّف هذه القوة ونفهمها ستتكشف لنا الكثير من الأمور في بنيــة الكون جملةً، وسينحل لغز الطاقة المظلمة والمادة المظلمة أيضاً. إذ ربما سنجد أن التأثير الذي نسميه مادة مظلمة هو ليس إلا نتاج لتفاعل المــادة مع المركبة المكانية للمجال الموحد يظهر بهيئة جسيمات، ليس لها التأثير الكتلوي التقليدي الذي للمادة العادية بالضرورة. وربما ظهر لنا أن الطاقة المظلمة هي نتاج لتفاعل المُركّبة الزمانية للقوة الموحــدة مــع المــادة،

---

[75] هذه واحدة من الطرق المستخدمة حاليا للبحث عن المادة المظلمة.

يتمظهر كطاقة أو كمون. إن مثل هذه المفاهيم تقع ضمن النسق الفكـري لتطور المعرفة العلمية على نحو مقبول في مقاييس النظريـات السـابقة والسائدة حالياً. فهذا ما تعلمناه من درس الفيزياء الحديثة إذ تحوَّلنا عـن الفيزياء الكلاسيكية اليها.

إن الحيرة التي تتملك الفيزيائي النظري وهو يرى أن نسقا منطقيا معينـا يقود إلى النجاح في حقل ما أو تصور على شاكلة معينة فينـدفع وراءه، ثم لا يلبث يكتشف ما يتناقض مع هذا التصور ليرتد منكفئا محبطا. ثم لا يلبث إلا قليلاً حتى يسعى وراء فكرة أخرى وهكذا. وقبل ما يزيد علـى ثمان وثلاثين سنة كتبت في كتابي الأول (مدخل إلى النظريـة النسـبية الخاصة والعامة) الذي طبعته جامعة الموصل عام 1974 أصـف هـذه الحالة من الحيرة والأمل والاحباط فالأمل فالحيرة... أقول:

"يحاول الانسان أن يتعرف على أصغر شيء في ذلك الوجـود المتشـابك المتعـدد الصور يحاول أن يتعرف على وحداته البنائية من مكوناته الأصلية ويعمل ويتعـب ويجد ثمرة جهده عالما جديدا قد اكتشفه يفسره في البدء مكللاً جهده بابتسامة تعلو وجنتيه، إلا أنه لا يلبث أن يعود مقطباً حين يدرك أن هذا العالم الذي اكتشفه بحاجة إلى فهم أكبر من فهمه عن العالم الذي كان يعرفه. فيجد الصورة أكثر تعقيداً، وأكثر تشابكاً، ويتحير في وجوده ضمن عالم ذي جدران أربعة. فيهيم في البحث والتنقيب محاولاً اللحاق بالمجهول. وتقع في يده خيوط كثيرة عن ذلك المجهول، إلا أنه يجد أن كثيراً من تلك الخيوط التي حصل عليها بعد عناء وتعب تناقض نفسها! فتعيـده إلى حيرته وينكب على معرفته، ليفرز منها معلومات جديدة ويرسم صـورا عديـدة متشابكة ومتباينة، يحملق في تلك الصور يتجلى في أرجاء الكون، ويطوف عـوالم واسعة، فيتمنى لو يخرج من هذا العالم ليستطلع سر المعرفة. إن الانسان مـرتبط بمجموعة إحساساته عن هذا العالم وإن جميع تصـوراته مـا هـي إلا انعكاسـات لاحساساته تلك. إلا أنه حين يقابل وجوداً جديداً يستشعر بالغربة فيه فيلحـق بـه

يندمج في نغماته وحين يفيق يستشعر الغربة في العالم. وتبقى علامة الاستفهام واحدة: ماذا يعني هذا الوجود؟ ماذا تعني تلك الصور؟ وتَمثُل علامة الاستفهام كبيرة أمام ناظريه. يفكر فيها عن إجابة. وماذا يتمكن أن يفعل؟؟ يتساءل دوماً كأنه سجين محظور عليه الكلام يراقب فقط حركة السجناء مع السجّان. يمتد الأفق أمام ناظريه تتوالى الأحداث في رأسه ليودع اعواماً الف ويبدأ أعواماً ألف ..."[76]

وأزاء مواجهة المعرفة العلمية على المدى العميق والدقيق الذي يتصل بتوحيد قوى الطبيعة أرى أن الأمل بعيد، خاصة عندما نحلم بتوحيد كامل القوى الطبيعية. ويتأمل مؤيدوا نظرية الأوتار الفائقة أن تأتي عملية التوحيد في سياق النظرية نفسها دون كثير عناء لأنهم يعتقدون أن هذه النظرية تعبر عن الوصف الطبيعي للعالم، وعساه يكون.

---

[76] محمد باسل الطائي، مدخل إلى النظرية النسبية الخاصة والعامة، 1974، ص 288-289.

11

مشكلات كبرى تواجه الفيزياء المعاصرة

وإذ نَحطُّ رحالنا عند خاتمة الكلام في الكون والعدم، لابد لنا أن نعرض بإيجاز لأهم مشكلات الفيزياء المعاصرة. فقد كانت رحلة الفيزياء على مدى قرن مضى فترة من أهم الفترات في تاريخ العلم والمعرفة العلمية، إذ تحول التفكير فيها نحو حلقات متقدمة من الابداع، وتمكن الإنسان في امتلاك ناصية التفكير المجرد، وإن كان ذلك عبر خوارزمية منطقية عقلية بطيئة على نحو ما. وافتتحت أمامه عوالم جديدة فيما وراء الجدران الثلاثة التي تحاصره. بل أصبح بامكانه أن يَرْكب محاور أخرى ويسلك مسارات أخرى يجتاز بها حصارات الزمان والمكان. وإذن فقد صار الإنسان على عتبة التقدم الذي نأمل أنه سيمكِّنُه من فهم نفسه وفهم عالمه. هذا الفهم الذي نتمنى أن يرتقي بالقيم الإنسانية إلى مراتب تُجِل الإنسان عن أن يقع في دَرَكات دنيا ويستبيح حرمة أخيه الإنسان.

الاتصال والانفصال

من أهم مشكلات الفيزياء المعاصرة مشكلة التعارض بين الاتصال والانفصال. هذه التي تتمظهر في مشكلاتٍ نظريةٍ كبيرة ومعاضل عصية منها: مشكلة تفسير دالة الموجة ومشكلة القياس في ميكانيك الكموم ومشكلة اللانهايات الملازمة لنظرية المجال الكمومي. كما تتمظهر المشكلة في معضلة قطة شرودنجر ومعضلة أينشتاين بودولسكي روزن. والى جانب ذلك تبدو بعض مفاهيم ميكانيك الكموم غير واضحة وبعض مبادئه غير مبررة كفاية. وأصلُ المشكلةِ متجذر في اعتماد التصور الاتصالي المتمثل بالموجة حيناً والمجال حيناً آخر. ومن ثم تحصيل المنفصل بتداخل المتصل ببعضه. وهذا على ما يبدو يؤدي إلى تناقض الفكرة والأداة؛ الفكرة التي تقول بالانفصال، والأداة التي تستبطن الاتصال ممثلة بحسبان التفاضل والتكامل.

ليس هذا فحسب بل إن بنية نظرية الكموم قد قامت على مبدأ تراكب الأمواج الذي يستبطن هو الآخر نوعا من البنية التراكبية التي ينشأ فيها الكبير من تجمع لأجزاء صغيرة جمعاً مباشراً غير متفاعل. لهذا السبب تتمظهر المشكلة في ما يسمى الكمونات المتفاعلة Interacting Potentials فلا تفلح نظرية التشويش Purturbation Theory في التعبير عن الحالة وتخفق في تقديم حل.

وعلى نحو أو آخر تتمظهر مشكلة الاتصال والانفصال في تقاطع النظرية مع التجربة في عالم الجسيمات الأولية؛ إذ لا تجد بعض الحقائق التجريبية تفسيرا لها في إطار نظرية الجسيمات الأولية، القائمة أساساً

على نظرية المجال الكمومي. مرة أخرى تعود المشكلة لتطل برأسها علينا بوجه آخر. ولعل أهم العلامات البارزة في هذا الصدد ذلك التفاوت الكبير في حساب قيمة الثابت الكوني بين مُنظري الجسيمات الأولية الذين يجدونه كبيرا جداً، والكوزمولوجيين الذين يجدونه صغيراً جداً. علماً أن الأرصاد الكونية تؤكد ما يذهب إليه الكوزمولوجيين. هذه المشكلة التي تُعرف اليوم باسم مشكلة الثابت الكوني.

والى جانب ذلك تبقى مشكلات النموذج القياسي للجسيمات الأولية عديدة ومتشابكة خاصة في ضوء عدم التمكن من تحديد المتغيرات Parameters المؤسسة للبنية التكوينية للجسيمات. إلى جانب أن فكرة التناظر الفائق supersymmetry تبدو كأنها طموح زائد وأمل بعيد المنال.

وللسبب عينه نجد أن جهود توحيد الجاذبية وميكانيك الكموم وفق الأطر التقليدية قد باءت بالفشل حتى الآن. هذا التوحيد الذي صار اليوم متطلبا مهماً من أجل تحقيق تقدم في فهم العوالم المجهرية وفهم ما حصل في الأزمنة السحيقة عند اللحظات الأولى لخلق الكون.

وعلى الجانب المفاهيمي تشخص مشكلة الحتم واللاحتم في فيزياء الكموم معبرة عن وجه خفي لمشكلة الاتصال والانفصال. هذه المشكلة المتصلة مباشرة بمشكلة القياس، والمتصلة بمشكلة القانون الطبيعي، والمتصلة أيضاً بمشكلة فلسفية كبرى هي مشكلة السببية وحدود حرية العالم وعلم الإنسان، فهي مشكلة إبستمولوجية من وجه آخر.

إلى جانب هذا كله تقف نظرية النسبية العامة ظاهرياً وكأنها خلو من المشكلات، هكذا على الأقل فيما تنشره الصحافة العلمية، على حين

أن هنالك أموراً كثيرا يجري تعليقها على شماعة نظرية الجاذبية المكممة Quantum Gravity وكأن المشكلة هي في حضن نظرية الكموم وحدها.

وبين هذا وذلك تتماهى مشكلة ترابط أجزاء العالم ببعضها كلاً كاملاً متوافقاً ومختلفاً عبر ظواهر التشاكه والترابط الكمومي. ولئن نظرنا إلى التشاكه كحالة ماكروسكوبية للترابط الكمومي صار لدينا واضحا معناهما في تحقيق الترابط العالمي. ذلك أن انتقال الفعل الجاذبي على مسافات تعد بآلاف السنين الضوئية لكل مترابط (الكون) هو الآخر مشكلة لم يتم الحديث عنها إلا بقليل من الهمس وشيء من الغمز واللمز، على حين أنها مشكلة حقيقية تحتاج إلى تفسير.

وعلى هذا المنحى نقف أمام مشكلة قديمة جديدة، ألا وهي مشكلة موجات الجاذبية Gravitational Waves التي كان قد تنبأ بوجودها ألبرت أينشتاين. فعلى الرغم من ثمانية عقود من البحث المضني عن هذه الأمواج، وعلى الرغم من التطور الكبير الذي حققته تقنيات الكشف والرصد الكوني، لم نجد أثراً واضحا لموجات الجاذبية حتى الآن!!

إلى جانب هذا كله، وعلى الرغم من النجاح الذي حققه النموذج الكوزمولوجي القياسي المتمثل في نظرية الإنفجار العظيم، فقد فتح رصد الخلفية الكونية المايكروية أبواباً لمشكلات شتى. ففي الوقت الذي يبدو الكون فيه على حالة الكثافة الحرجة فإن كمية المادة التي ترصدها التلسكوبات الفلكية لا تكاد تغطي 5% من كمية المادة اللازمة. وهذا ما دعى إلى القول بوجود المادة المظلمة. وهي مادة لا نعرف عن تكوينها شيئاً كثيراً . من جانب آخر تبين أن تسارع تمدد الكون فيما يظهر من تحليلات الخلفية الكونية المايكروية يتطلب هو الآخر وجود ثابت كوني

بقيمة صغيرة وقدر كبير من الطاقة لدفع أجزاء الكون إلى التمدد المتسارع. وهذا كله قد تم اختزاله بالقول أن في الكون قدر هائل من الطاقة المظلمة. وهكذا يكون 96% من مكونات الكون مجهولاً لدينا!!

في إطار الدراسات الكوزمولوجية لا زال الفيزيائيون متمسكون بالنمط المنهجي لكوزمولوجيا فريدمان على الرغم مما فيها من عيوب. وإذا كانت نظرية التضخم قد حلَّت بعض المشكلات المهمة التي ظهرت في نظرية الانفجار العظيم التي وضعها جامو وجماعته فإن مشكلة الفردنة الكوزمولوجية لم تزل قائمة دون حل. هذا فضلاً عن أن النمط المنهجي الفريدماني يبدو فيه خلل جوهري، فما معنى أن يظهر الكون من العدم إلى الوجود بكل محتواه من المادة والطاقة هكذا دفعة واحدة دون سابق إنذار؟

إن الأرصاد تؤكد وجود خلل في النمط الفريدماني لتطور الكون لكن أغلب الكوزمولوجيين النظريين لم يزالوا قانعين به. وكثيرا ما تعاد حكاية أفلاك التدوير في تاريخ العلم.

نظرية الأوتار والأوتار الفائقة

تبدو نظرية الأوتار الفائقة Superstring Theory التي طُرحت في منتصف الثمانينيات من القرن الماضي نظرية واعدة. إذ تقوم الفكرة الأساسية فيها على مغادرة مبدأ الإتصال الذي إعتمدته نظرية المجال الكمومي إلى مبدأ الإنفصال فتصبح الجسيمات فيها كينونات مستقلة قائمة بذاتها من الأساس ممثلة بأوتار Strings دقيقة جداً ذات شد مختلف، وبالتالي ذات تردد طبيعي مختلف. هذا التردد الطبيعي يتصل بالطاقة التي

يمتلكها الوتر/الجسيم. وبالتالي فإن نظرية الأوتار لا تصف مجالات وليس فيها فكرة المجال أصلاً، بل هي تصف جسيمات متفاعلة مع بعضها البعض. الفكرة التي تقوم عليها نظرية الأوتار فكرة مذهلة لأنها تجعل من الجسيمات جزءً من البنية الزمكانية للعالم. وبالتالي فإن الجاذبية تظهر كصفة بنيوية في هذه النظرية. وهذا ما يقصده مؤيدو نظرية الأوتار الفائقة بقولهم أن "**نظرية الأوتار الفائقة تتنبأ بالجاذبية**" هذا التصريح الذي يبدو للوهلة الأولى غير مفهوم.

لقد سميت النظرية الأولى التي تصف الأوتار زمكانياً في أربعة أبعاد نظرية الأوتار String Theory. ثم جرى تطوير هذه النظرية في التسعينيات من القرن الماضي لتصبح الأوتار موصوفة في عوالم من أبعاد كثيرة وصلت إلى 32 بعداً، وبالتالي سميت نظرية الأوتار الفائقة Superstring Theory. طبعاً هذه الأبعاد بعضها مكانية وبعضها الآخر زماني. ولما ظهرت الحاجة إلى التعامل مع أكثر من بعد في آن واحد لوصف الظاهرة الفيزيائية، تحول الحديث من الوتر إلى السطح، لأن الوتر حين يتحرك يصنع سطحاً، وبهذا ظهر مفهوم الغشاء Membrane الذي تم إختصاره إلى مصطلح بران Brane. وهكذا ظهر ما يسمى نظرية البران Brane Theory. ولقد نفخ بعض الفيزيائيين المعاصرين، بعد أن أغرتهم متعة مكاسب السبق الصحفي، في قدرة وجبروت نظرية الأوتار أو نظرية البران فرفعوها إلى مقامات عالية لم تزل هي على الحقيقة قاصرة عنها، فقالوا إنها ستصل بالعلم والمعرفة البشرية إلى غايتها لتكون هي نظرية كل شئ Theory of Every Thing والتي تم إختصارها بالرمز TOE. وربما كان هذا مقبولاً بعض الشيء لنيل الدعم

المادي أو المعنوي لأبحاث هذه النظرية إلا أن فيزيائيين كبار تورطوا في مثل الترويج لمثل هذه التنبؤات التي دامت بضع سنين قبيل نهاية القرن الماضي ثم خمدت[77].

ومما ينبغي ذكره هنا أن نظرية الأوتار الفائقة إذ تصف الفيزياء في أكثر من أربعة أبعاد، فهي إنما تدعي أن الأبعاد الأخرى ربما تكون منطوية Compactified Dimensions وملفوفة في النطاق ما تحت البلانكي بمقادير متناهية في الصغر. ومن المعروف أن النطاق البلانكي يبدأ عند 10^{-33} سم في المكان و 10^{-44} ثانية في الزمان. وكلما نزلنا في سلم التصاغر الزماني ارتقينا في سلم الطاقة وبالتالي فإن هذه الأنطقة الزمكانية التي تتحدث عنها نظرية الأوتار الفائقة تعني طاقات هائلة. ومن هنا تأتي الصعوبة في تحقيق ما تذهب إليه نظرية الأوتار.

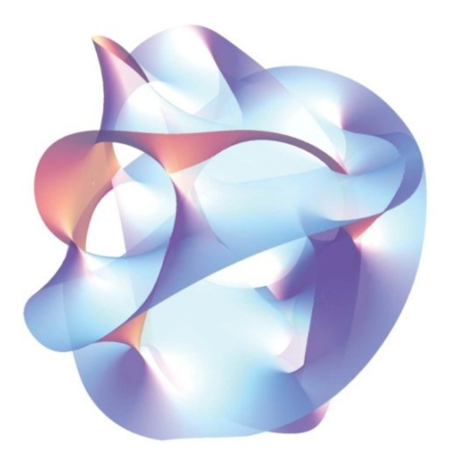
من المؤكد أن هذا الوصف الوتري للجسيمات يتمتع بقوة أساسية لم تَحُزها نظرية المجال الكمومي. وليس غريباً أن تخلو نظرية الأوتار من مشكلة اللانهايات، تلك المشكلة المزمنة التي عانت منها نظرية المجال الكمومي، وذلك لأن هذه النظرية قد أخذت بمبدأ الإنفصال من أولها وقامت على التعامل مع العالم بصفة ذرية. إلى جانب ذلك فإن اللاحتم صفة جذرية في نظرية الأوتار، وهذا أمر واجب طالما كان الوتر يمثل إهتزازاً.

---

[77] أنظر بهذا الصدد كتاب

Brian Greene, The Elegant Universe, w.w. Norton & Co., 2003; M. Kaku and J. Thompson, Beyond Einstein, OUP 1987.

والكتاب الأول مترجم إلى العربية ترجمة لا بأس بها بعنوان (الكون الأنيق: الأوتار الفائقة والأبعاد الدفينة والبحث عن النظرية النهائية) ترجمة فتح الله الشيخ، المنظمة العربية للترجمة، الطبعة الأولى، بيروت 2005. أما الكتاب الثاني فهو مترجم بشيء من التصرف حسب استيعاب المترجم على ما يبدو.



الشكل (33) فضاء كلابي ــ ياو

تتخذ دراسات نظرية الأوتار الفائقة من فضاء كلابي ــ ياو Calabi-Yau ذي العشرة أبعاد مسرحاً للعمليات التي تجريها وأهم تلك العمليات فيما يخص موضوعنا هنا هو تخليق الجسيمات الأولية وحساب كتلها. فقد أظهرت أبحاث إدوارد ويتن (1951 ــ) وآخرين أن تخليق الجسيمات الأولية هو نتيجة لتمزق الفضاء عند نقاط معينة وهذا التمزق يحصل بطريقة سلسة نتيجة للتحولات الإنقلابية Flop Transitions في هندسة فضاء كلابي ــ ياو عند مواقع معينة وضمن إشتراطات معينة. لكن نظرية الأوتار الفائقة تتنبأ بأن كتل الجسيمات الأولية تتغير بصورة بطيئة جداً عبر الزمن. وهذه مسألة لم يتم التحقق منها تجريبياً ولا يمكن التحقق منها في المستقبل المنظور.

ومن الفيزيائيين الذين وجهوا انتقادات عنيفة إلى نظرية الأوتار الفائقة الفيزيائي الرياضي بيتر ڤوت (1957-) وهو من جامعة كولومبيا بالولايات المتحدة الأمريكية حيث يكرر هذا الرجل مقولة باولي الشهيرة

في رفضه للنظريات التي لا يجد لها معنى قائلاً " Not Even Wrong" وكأنه يريد أن يقول أن نظرية الأوتار الفائقة لا سبيل إلى إثباتها ولا إلى نفيها. ومن المعروف أن الفيزيائي لي سمولين (1955-) وجه نقداً لاذعاً لنظرية الأوتار الفائقة في كتابه المعنون (مشكلات الفيزياء) منطلقا من حقيقة أن هذه النظرية لم تقدم شيئا حتى الآن. فهو يرى أن هذه النظرية لم تستكمل بعد اشتراطات النظرية النظرية العلمية المتكاملة وذلك لأنها لا تمتلك البنية النظرية الأساسية المتمثلة بجملة المبادئ المؤسسة للنظرية، كما أنها لا تمتلك البنية النظرية اللازمة لوصف الظواهر ومعالجتها. ويستشهد سمولين بأقوال وتعليقات عدد من الباحثين الرئيسيين، فمثلاً يقول براين غرينيه في كتابه (نسيج الكون): "حتى الآن وبعد ثلاثة عقود من انطلاقة نظرية الأوتار فإن معظم العاملين فيها يعتقدون أننا لا نمتلك جوابا وافيا للسؤال الأولي: ما هي نظرية الأوتار؟ ذلك أن معظم الباحثين يشعرون أن صياغة النظرية تفتقر إلى المبادئ الأساسية التي نجدها عادة في صلب النظريات الكبرى"[78]. كما يعلق جيرالد تهوفت الفيزيائي الحاصل على جائزة نوبل في نظرية الجسيمات الأولية بقوله "في الحقيقة أنا لا أستطيع تسميتها نظرية، ولا حتى نموذج، بل هي صرعة لا أكثر. فالنظرية يجب أن تأتي بسياقات عن كيفية التعامل مع الظواهر التي تختص بها. وإذ تتعامل هذه مع الجسيمات الأولية فإنها لا بد أن تتمكن من حساب خصائص هذه الجسيمات وتحصل على تنبؤات جديدة بشأن هذه الجسيمات. لنتخيل أنني أعطيتك شيئا أسميه كرسياً ثم قلت لك لابأس

---

[78] Brian Greene, The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture *of Reality,* New York: Alfred A. Knopf, 2005, p. 376.

ولكن تنقصها الأرجل حاليا أما المقعد ومسند الظهر والمساند الجانبية فسيتم تجهيزها لك لاحقاً فهل يحق لي أن أقول أنني أعطيتك كرسياً؟"[79].

ما يجعل الفيزيائيين يترددون في قبول نظرية الأوتار الفائقة وجود أكثر من صورة لها (خمسة على الأقل) وقد جرت محاولات لتجميع الوجوه الخمسة لنظرية الأوتار الفائقة في نظرية واحدة سميت نظرية إم M-Theory يتم وصفها في أحد عشر بعداً، عشرة منها مكانية وواحد زماني.

وكما قلت فإن نظرية الأوتار الفائقة هي نظرية واعدة تتآلف معها النفس نظراً لبساطة الفكرة الأساسية فيها وسهولة تقبلها، خاصة من اولئك الذين يعرفون أن الطاقة هي ليست إلا تذبذبات وأن المادة مكافئة للطاقة بحسب قانون أينشتاين الشهير. لكن المعضلة الرئيسية التي لم تتمكن هذه النظرية تجاوزها هو اعتمادها على تقنيات نظرية التشويش لحساب الكميات الفيزيائية، وهذا أمر غير مضمون دوماً ففي بعض الأحوال يصلح استخدام تقنيات التشويش على حين لا تصلح هذه التقنيات في أحوال أخرى. والسبب هو لا خطّية Non-linearity المنظومة قيد الدرس؛ فلا أحد يستطيع الجزم بأن العالم مبني على أساس المنطق الخطي بل الأرجح أن العالم بصورته المضبوطة (وليس التقريبية) هو نظام لا خطّي. لذلك يمكن القول أن نظرية الأوتار الفائقة ما زالت قاصرة عن التعبير عن الواقع الدقيق لبنية الطاقة والمادة في الكون.

---

[79] Gerard 't Hooft, *In Search of the Ultimate Building Blocks*, Cambridge University Press, 1996, p. 163.

إن نظرية الأوتار الفائقة في جانب من نهجها إنما تبحث عن أيجاد حالة من التناظرات الشاملة في الفيزياء. فهذا إدوارد ويتن مثلاً يتمنى أن يرى حالة يتناظر فيها المجال الكهربائي مع المجال المغناطيسي تناظراً تاماً[80]. والحق أن مثل هذا التمني ربما يمكن أن يحصل في غياب الزمان والمكان اللذين نعرفهما. ذلك لأن المجال الكهربائي كما نعرف اليوم يُعبَّر عنه بمتجه شبه زماني Timelike والمجال المغناطيسي يعبر عنه بمتجه شبه مكاني Spacelike. وبالتالي فإن تناظر المجالين لا يمكن أن يحصل إلا في طور ابتدائي للزمان والمكان. وبالتالي فإن حلم ويتن هذا ربما يتحقق في تلك الباحات التي ليس فيها زمان صرف ولا مكان صرف وعندئذ بالطبع ستتشخص أمامه أحاديات القطب المغناطيسي Magnetic monopoles كما تتشخص أمامنا الشحنات الكهربائية الآن. وهذا حلم جميل لا أرى إستحالة تحقيقه من خلال نظرية أوتار فائقة قائمة على التكميم الصحيح متخلصة من إزدواجية الاتصال والانفصال.

كلمة لابد منها في نهاية هذا الفصل وهي حكمة نتعلمها من تاريخ العلم الحديث تقول إن التحولات الكبرى في العلم حصلت عندما انتفض العقل ثائراً على المسلمات. فالكثير من النظريات العلمية تقدم أنماطاً منهجية Paradigm لعمليات البحث تصبح دستوراً مقدساً لا سبيل إلى نقضه. هذا الدستور ربما تضمن أحياناً مسلمات ضمنية غير مبرهنة أو أنها صحيحة لحالات خاصة فقط. لكن تشبث الباحثين بتلك الأنماط المنهجية والمسلمات يعيق تطور العلم ويدخل التفكير في حلقات مفرغة معقدة لا سبيل إلى الخلاص منها إلا بالثورة عليها وتمزيقها. مثال ذلك

[80] E. Witten, *Duality, Spacetime and Quantum Mechanics*, Physics today, May 1997.

النمط المنهجي للهندسة الإقليدية Euclidean Geometry التي تضمنت مسلمة الخطوط المتوازية والتي لم يكن من سبيل إلى إثباتها إلا الحدس. لكن عندما أحيلت هذه المسلمة جانباً إنفتح افق جديد أمام العقل تمثل بالهنسة اللاإقليدية، التي بدونها لا يمكن أن نفهم العالم بدقة. ومثال آخر على النمط المنهجي المعيق نظرية أفلاك التدوير لبطلميوس التي بقي الفلكيون النظريون يدورون في دوائرها المفرغة أكثر من 1200 سنة دون تحقيق تقدم جوهري. لكن من كان يجرؤ على الوقوف بوجه الطاغوت البطليمي الذي فرض نفسه على علم الفلك من خلال مسلمة لا دليل عليها إلا الحدس، ألا وهي مركزية الأرض في العالم؟ ومثال ثالث موضوعة إستقلالية الزمان عن المكان وكونهما مطلقين، تلك التي سادت بموجبها نظرية نيوتن في الحركة ولم يشق عصا طاعتها إلا أينشتاين إذ قال بتكامل الزمان والمكان معاً وكونهما يؤلفان كينونة واحدة هي الزمكان. وبهذا فتح أمام العلم آفاقا واسعة لم يشهد لها التاريخ مثيلا. ومثال رابع ما كان من تقديس وتمسك بنظرية ماكسويل للمجال الكهرمغناطيسي وتصور صلاحيتها على جميع المستويات، فما كان من بلانك وبور إلا أن خرقاها بمنهجية جديدة تعتمد تكامل الموجة والجسيم وتصور جديد يُحِل التجريد محل التجسيد. فكانت نظرية الكموم وكان منها تلك التطبيقات العظيمة في مجال المادة والأشعاع والفيزياء النووية وما تمخض عنها من دراسات وتطبيقات وتقنيات مذهلة حولت أنماط الحياة إلى سياقات جديدة ونظم جديدة غير معهودة. فضلاً عن ما فتحته أما العقل من آفاق للتعرف على معنى العالم وقيمة الوجود ومعنى وجود هذا الكائن الذي إسمه الإنسان فيه.

وفي كل هذا الجهد والدأب فما لم تكن غاية المعرفة ترقية الوجود وتعميق معانية وتداول قيمه على نحو أفضل فلا خير في هذه المعرفة ولا تلك التكنلوجيات. إذ أن قيمة الإنسان في قيمه، ومعاني الوجود الحق تتجلى في الترقي على مدارج الرفعة والإدراك الشمولي العظيم الذي يكشف عن معاني الأشياء ومعاني وجودها. وإلا فإن الأشياء بقيمتها المادية الصرف ضعيفة والتصرفات بأهدافها المادية وحدها أعمال لا قيمة لها بالفعل، إلا ديمومة الحياة دون الارتقاء بها. بل إن ما يمكث في الأرض هو ما ينفع الناس في حياتهم وأنفسهم وعقولهم بالقدر الذي يرتفع بهم ويرقّيهم عن مملكة الحيوان التي يولدون عليها.

مصطلحات ومفاهيم

الميكانيك الكلاسيكي *Classical Mechanics*

هو جملة قوانين نيوتن في الحركة وقانونه في الجاذبية، والصياغات المتطورة التي وضعت لهذه القوانين من قبل لاغرانج وهاملتن وما يلحق بها من شروط رياضية ومعادلات تؤلف نسقاً متكاملاً لحل معادلات الحركة.

الألكترودواينيك الكلاسيكي *Classical Electrodynamics*

جملة قوانين الديناميكا الكهربائية والمغناطيسية تجمعها قوانين ماكسويل ولورنتز ولنز ومن عمل في هذا الحقل من المعرفة الفيزيائية.

ميكانيك الكموم *Quantum Mechanics*

جملة قواعد وأصول لحساب حركة الجسيمات ومتغيراتها، تقوم على أساس يفترض أن للجسيمات طبيعة مزدوجة موجية جسيمية ويقيم معادلة الحركة على الأساس الموجي.

المجال الكهرمغناطيسي *Electromagnetic Field*

نطاق واسع من ترددات تتألف من مجالات مغناطيسية وكهربية متبادلة يولد أحدها الآخر منتشراً عبر الفضاء على معارج الزمكان بسرعة كبيرة هي سرعة الضوء وهو صفة للزمكان.

الألكترودواينميك الكمومي *Quantum Electrodynamics*

جملة قوانين الألكترودانميك التي تتعامل مع النظم الكمومية والتي تمت صياغتها بما يتوافق مع ميكانيك الكموم.

الزمكان *Spacetime*

لفظة منحوتة من مفردتي زمان ومكان. تم استحداثها للتعبير عن كينونة جديدة ولدت بعد طرح نظرية النسبية لأينشتاين التي جعلت من الزمان والمكان كياناً واحداً.

الخلاء (الفراغ) *Vacuum*

الفضاء المتصور بغياب الجسم كالفضاء المشغول بالماء أو الهواء داخل الكوز دون وجود ماء أو هواء. والكوز هنا محل للخلاء.

العدم *Nothing*

هو الغياب المطلق للصفات. والعدم ليس الخلاء، لأن الخلاء يمكن أن يكون شيئاً على سبيل المجاز كما تقرر نظرية المجال الكمومي.

دالة الموجة *Wavefunction*

تعبير رياضي يصف حالة المنظومة الفيزيائية بدلالة موجية تتضمن خصائص تلك المنظومة ومتغيراتها الأساسية. يعبّر مربع دالة الموجة عن إحتمالية وجود الجسيم على حالته التي تصفها تلك الدالة زماناً ومكاناً.

الإجراء الكمومي *Quantum Operator*

تعبير رياضي يمثل عملية قياس لمتغير فيزيائي يستخلص من دالة معينة مخصوصة لذلك الإجراء.

الدوال المخصوصة *Eigenfunctions*

دوال رياضية تعيد نفسها لتصبح مضروبة بعدد بعد تأثير إجراء عليها. وفيزيائياً يمكن القول أن الدوال المخصوصة هي تلك التي تصف أحوال المنظومة الفيزيائية بما هو قابل للقياس.

القيم المخصوصة *Eigenvalues*

ما ينتج من عمل إجراء معين (إجراء مخصوص) على دالة مخصوصة له. وفيزيائيا هو نتاج عملية القياس التي يمثلها الإجراء المخصوص.

فضاء هلبرت: *Hilbert Space*

فضاء رياضي خطي لا نهائي الأبعاد أُسسه دوال معقدة قيمتها الوحدة. عليه تقوم صياغات النية الرياضية لميكانيك الكموم.

الأعداد الكمومية *Quantum Numbers*

كان من نتائج تكميم الزخم الزاوي في الذرة تحول البنية الهنسية (المدارات الألكترونية) إلى بنية عددية سميت الأعداد الكمية وصار التعبير عن بنية الذرة بهذه الأعداد. أشهرها العدد الكمومي الرئيسي والعدد الكمومي للزخم الزاوي والعدد الكمومي المغناطيسي.

مدرسة كوبنهاجن *Copenhagen School*

مدرسة فلسفية لها تفسيرها الخاص لميكانيك الكموم يقوم على التفكير الوضعي الذي يأخذ حقائق العالم بما هي عليه واقعا دون كثير جهد في التأويل. أهم روادها الأوائل نيلز بور وفيرنر هيزنبرغ.

مبدأ اللايقين لهايزنبرغ Heisenberg Uncertainty Principle

مبدأ اكتشفه هايزنبرغ الألماني يقرر أن من المستحيل قياس زخم الجسيم أو موقعه معا وفي آن واحد بدقة لامتناهية وكذا ينطبق على الطاقة والزمن أيضاً. وهو اللايقين الذي نجده في ميكانيك الكموم.

البرم Spin

صفة كمومية خالصة تُظهر صفة تناظر دالة الموجة تحت تأثير تدويرها حول محور التناظر الذاتي. وتتخذ الجسيمات عديمة البرم تناظرا شمولياً فيما تتناظر الجسيمات ذوات البرم ½ بتدويرها دورتين كاملتين. وتتخذ الجسيمات ذات البرم 1 تناظرا تحت تدويرها دورة كاملة والجسيمات التي له برم 2 تناظرها يتم في نصف دورة.

الفيرميونات *Fermions*

جميع الجسيمات التي برمها أنصاف الأعداد الفردية. تتبع الفيرميونات نظام باولي ــديراك في الإحصاء الكمومي.

البوزونات *Bosons*

جميع الجسيمات التي برمها أعداد صحيحة بما فيها الصفر. تتبع البوزونات نظام بوز ــ أينشتاين في الإحصاء الكمومي.

مبدأ باولي في الاستثناء Pauli *Exclusion Principle*

لايمكن الجمع بين فيرميونين في حالة واحدة لها نفس الأعداد الكمومية. وعلى هذا المبدأ تقوم التوزعات الألكترونية في الذرات. وبالتالي فهو أساس علم الكيمياء.

بحر ديراك *Dirac Sea*

عنما صاغ بول ديراك معادلة الحركة النسبوية للألكترون وجد أن الألكترون يمكن أن يفقد طاقته الكلية بالهبوط إلى مستويات دون الصفر، إذ وجد أن معادلته تبيح وجود الطاقة السالبة. ولكي يمنع الألكترونات نظرياً من أن تسقط إلى حالة الطاقة السالبة كان عليه أن يفترض وجود بحر من الطاقة السالبة مقاعده كلها مملوءة بألكترونات خيالية وهذا يمنع من وقوع الألكترون في عالمنا الموجب إلى بحر الطاقات السالبة. لكن ديراك استدرك أن خلو أي مستوى للطاقة السالبة سيعني ظهور جسيم مماثل للألكترون في عالمنا لكنه موجب الشحنة.. وسرعان ما تم الكشف عمليا عن هذا الجسيم وسمِّي هذا الجسيم الجديد البوزيترون وحصل ديراك على جائزة نوبل لصدق نبوئته العلمية.

مستويات الطاقة المتوالدة *Degenerate Levels*

مستويات لها القدر نفسه من الطاقة بزخوم زاوية مختلفة. فهي بهذا متوالدة عن مستوي الطاقة نفسه ولذا كانت التسمية العربية. تنشأ المستويات المتوالدة في النظم الكمومية.

الطاقة السالبة *Negative Energy*

هي طاقة نظرية مناظرة للطاقة الموجبة إفترض وجودها في الخلاء (الفراغ) بول ديراك إذ جاءت حلاً من حلول معادلة الألكترون الحر. وقد افترض ديراك أن مواقع الطاقة السالبة تكون مملوءة عادة ويكشف عنها عند حصول عملية تخليق أزواج الجسيمات كالألكترون و البوزيترون حيث يمثل ظهور البوزيترون خلو موقع ألكترون في بحر الطاقة السالبة.

تقلبات الخلاء *Vacuum Fluctuations*

أحوال إفتراضية للخلاء نشأت عن تصور الخلاء جسيمات مجازية يحكم وجودها مبدأ اللايقين لهايزنبرغ. وهذه مماثلة لما جاء به المعتزلة من قبل في فهمهم أن العدم، في إطاره الفلسفي، شيء بقولهم هو جواهر غير متحيزة. فهذه الجواهر غير المتحيزة قد صارت في إطارها الفيزيائي جسيمات مجازية.

المجال الكمومي: *Quantum Field*

هو تعبير إتصالي عن الوسط الحامل للطاقة أو المادة المكممة . يوصف عادة بدلالة اللاغرانجي أو الهاملتوني المتمثل بجملة من الاجراءات ***Operators*** التي تشتمل على المتغيرات الأساسية للمجال.

التكميم الثاني *Second Quantization*

مرحلة ثانية من مراحل تكميم المجالات يتم بموجبها فتح سعات أمواج المجال باستخدام سلسلة فورير وتحوّل معاملات السلسلة إلى إجراءات تضبطها قواعد تبادلية خاصة بها.

القوة الكهرضعيفة *Electroweak Force*

قوة ترابط نووية بين الألكترون و البروتون تؤدي إلى تكوين النيوترون وتظهر عند انحلاله المسمى انحلال بيتا. كشفها محمد عبدالسلام ووا ينبرغ وغلاشو ونالوا عليها جائزة نوبل عام 1979م.

القوة النووية الشديدة *Strong Nuclear Force*

قوة ترابط نووية بين البروتونات والنيوترونات بعضها مع البعض الآخر داخل نواة الذرة. مداها قصير جداً.

طاقة كازيمير Casimir Energy

هي طاقة الخلاء التي تتخلق عندما تتقطع أنماط الترددات الخلائية بقاطعين أو حاجزين متعادلين موصلين يمنعانها من التواصل فتتحصر بين اللوحين فتتولد طاقة سالبة تشد اللوحين الى بعضهما. ويمكن أن تتولد طاقة كازيمير داخل تجويف كروي أيضاً فتتخلق عنئذ طاقة موجبة هي نتاج لأنماط الترددات الخلائية المحصورة داخل التجويف.

الجسيمات الأولية: *Elementary Particles*

هي الجسيمات التي تؤلف المكونات الأساسية للذرات. في مقدمتها يأتي الألكترون و البروتون و النيوترون. لكن تقدم العلوم الذرية كشف عن وجود المئات من الجسيمات الأولية الأخرى. بل لقد كشف تقدم العلم أن البروتون والنيوترون وجسيمات أخرى كانت تعد أولية ليست بالأولية تماماً لأحتوائها فيما يبدو من نتائج تجارب التشتت على تركيب داخلي.

الجسيمات المضادة *Anti-particles*

وهي تلك التي تمتلك نفس الكتل التي للجسيمات وتختلف عنها في الشحنة والبرم مثل البوزيترون الذي هو ضديد الألكترون.

التناظر: *Symmetry*

صفة تعبر عن التماثل المكاني أو الزماني أو الكهربي أو المغناطيسي أو أية صفة لها قرين مقابل. الكرة متناظرة تناظراً تاماً. والمثلث ذي الأضلاع المتساوية متناظر حول المحاور المارة برؤوسه متعامدةً على الأضلاع المقابلة له. والمثلث متساوي الساقين متناظر مكانياً حول محور يمر برأسه متعامداً مع الضلع المقابل لذلك الرأس.

التناظر الفائق *Supersymmetry*

وجود مثيل للجسيم مقابل له برمياً. فالبوزونات المقابلة الفيرميونات هي نظائرها الفائقة. والفيرميونات المقابلة للبوزونات هي نظائرها الفائقة.

الكسر التلقائي للتناظر *Spontanous Symmetry Breaking*

اختفاء أي صفة تناظرية بسبب التغير في الشكل أو العلاقة يعد كسرا للتناظر. وفي الاصطلاح يسمى ظهور الكتلة بعد أن لم تكن نتيجة لتفاعل الهكزات مع الخلاء كسراً تلقائياً للتناظر وذلك لأن هذا التفاعل تلقائي لا يحتاج الى جهد محفز.

الأثير *Ether*

وسط افتراضي تخيله الفيزيائيون لنقل الأمواج الكهرمغناطيسية ثم هجروه بعدما تبين لهم أن هذه الأمواج لا تحتاج إلى وسط ينقلها لأنها هي وسط مادي ذاتها.

إعادة التقويم *Renormalization*

خطوة ضرورية لتحصيل معنى فيزيائي للمجالات الكمومية لتلافي عيوب الفرض الاتصالي للمجال.

مشكلة اللانهايات *The Problem of Divergences*

مشكلة نظرية ظهرت مع نظرية المجال الكمومي سببها الأساس افتراض اتصالية المجال (إذ كيف يحتوي ما يتناهى على ما لايتناهي) فانقلب الفرض الاتصالي وظهر بوجه يجعل الكميات الفيزيائية التي نستخرجها من النظرية تصير لانهائية القيمة في الحساب وتقويمها يتطلب إعادة التقويم.

نظرية التشويش *Purturbation Theory*

وتسمى نظرية الاضطراب أيضاً، وهي طريقة حسابية تجعل من الحالة الشاملة للنظم الفيزيائية محصلة تجميع خطي لحد رئيسي وحدود ثانوية لا نهاية لها تتصاغر كلما علت مرتبتها. وتستخدم هذه التقنية الحسابية على نطاق واسع في نظرية المجالات الكمومية المتفاعلة. لا يصلح استخدام هذه التقنية الحسابية للمجالات اللاخطية مثل المجال الجاذبي بوصف النسبية العامة.

اللبتونات *Leptons*

هي الجسيمات الخفيفة الألكترون والميون والتاوون ونيوترينوهاتها.

النيوترينو *Neutrino*

جسيم ضئيل الكتلة، وكان قبلاً يُحسب عديم الكتلة، توقع وجوده نظريا ولفجانج باولي، ذي برم نصف، يتولد عند التحلل التلقائي للنيوترون. وهو على ثلاثة أو ربما أربعة أنواع. نيوترينو الألكترون ونيوترينو الميون ونيوترينو التاوون ويُظن وجود نيوترينو عقيم رابع. تكمن أهميته في أنه يتواجد بعدد كبير في الكون وتفاعله مع المادة ضعيف جدا يكاد ينعدم.

جسيمات فائقة التناظر Supersymmetric Particles

جسيمات أولية مناظرة لتلك التي نعرفها فيما عدا البرم الذي يكون مختلفاً فإن لكل فيرميون نظير بوزني فائق والعكس صحيح.

جسيمات هيكز *Higgs Particles*

جسيمات سريعة التحلل ذات عمر قصير جدا افترضها بيتر هيكز لآليته في توليد الكتل للجسيمات الأولية عبر كسر التناظر التلقائي.

الميزونات *Measons*

جسيمات أثقل من الألكترون أغلبها أقل كتلة من البروتون ومن هنا جاءت تسميتها لأن كتلها متوسطة بين كتلة الألكترون والبروتون في الأغلب.

الفترة الزمكانية *Spacetime Interval*

هي مقدار الوتر في مثلث قائم الزاوية أحد ضلعيه زمان والآخر مكان. ومربعها يساوي الفرق بين مربع الفترة الزمانية والفترة المكانية.

الفترة شبه ــ المكانية *Spacelike Interval*

إذا غلب تأثير المكان على الفترة الزمكانية سميت شبه ــ مكانية. والمتجهات شبه المكانية هي تلك التي تكون مركباتها المكانية هي الغالبة في قيمة المتجه.

الفترة شبه ــ الزمانية *Timelike Interval*

إذا غلب تأثير الزمان على الفترة الزمكانية سميت شبه ــ زمانية. والمتجهات شبه الزمانية هي تلك التي تكون مركباتها الزمانية هي الغالبة في قيمة المتجه.

المعارج شبه الزمانية *Timelike Geodesics*

مسارات حركة الجسيمات في الفضاء بسرعة أقل من سرعة الضوء.

المعارج شبه المكانية *Spacelike Geodesics*

مسارات حركة الجسيمات في الفضاء بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وربما كانت هذه المعارج غير قابلة للقياس المباشر بالنظر لوقوعها خارج المخططات الزمكانية ولكون الجسيماتالتي تتحرك عليها غير قابلة للقياس مثل التاخيونات.

المعارج الصفرية *Null Geodesics*

مسارات حركة الضوء (الموجة الكهرمغناطيسية) في الفضاء. تنحني هذه المسارات في الفضاء الذي يحتوي كتلاً ومنه أسميناها معارج وليس خطوط كما يتداول.

التاخيونات *Tachyons*

جسيمات فرضية لها كتل سكون خيالية قادرة بها على أن تسير بسرع أكبر من سرعة الضوء.

الخلفية الكونية المايكروية *Cosmic Microwave Background*

فيض من الطاقة الحرارية يملأ الفضاء بشكل متجانس ومتناسق تقريباً يكون على شكل موجات كهرمغناطيسية يقع أشدها في نطاق الترددات المايكروية. تم اكتشافها عام 1965م وتم احتسابها من بقايا الانفجار الكوني العظيم لأن النظرية تنبأت بوجودها قبل اكتشافها مما جعل ذلك مناسبة تدعم نظرية الانفجار الكوني العظيم. حصل مكتشفاها على جائزة نوبل عام 1978.

الثابت الكوني *Cosmological Constant*

هو حد رياضي أضافه ألبرت أينشتاين إلى معادلات المجال النسبوي العام التي تصف المجال الجاذبي بهدف تسكين الكون بعد أن وجد أن المعادلات الأصلية تفضي إلى إنهياره. وهذا الثابت يعبر عن قوة تنافر بين أجزاء الكون تمسك وقوع أجزائه على بعضها بفعل التجاذب الكتلوي. وكانت قيمة الثابت الكوني بحسب أينشتاين تساوي بالضبط مقدار التجاذب

الكتلوي لمادة الكون برمتها. لكن اكتشاف توسع الكون في نهاية العشرينيات من القرن الماضي جعل أينشتاين يعدل عن استعمال هذا الثابت ويصرح أنه أكبر خطأ ارتكبه في حياته. إلا أن العقود الأخيرة من القرن العشرين شهدت عودة الثابت الكوني إلى النماذج الكونية لتبرير توسع الكون على نحو متسارع.

المادة المظلمة Dark Matter

مادة كتلوية غير معروفة يفترض الكوزمولوجيون وجودها لسد النقص في الكثافة الإجمالية للكون التي يجدونها عند الكثافة الحرجة فيما لا تكفي الكتلة المرئية من تغطية تلك الكثافة. دلت عليها أرصاد الخلفية الكونية المايكروية. ويكشف عن أماكن توزعها باستعمال تقنية رصد إنحراف الضوء بتأثير الجاذبية أو ما يسمى التعدس الجاذبي.

الطاقة المظلمة ***Dark Energy***

طاقة غير معروفة على وجه التفصيل، ربما هي طاقة الخلاء، أو هي الثابت الكوني، يفترض وجودها الكوزمولوجيون لسد النقص في الكثافة الإجمالية للكون. دلت عليها أرصاد الخلفية الكونية المايكروية.

التكوير (الجاذبي) ***Gravitational Collapse***

إنكماش الكتلة على نفسها بفعل قوى الجذب الكتلوي حتى تصير إلى حالة يتوازن فيها الجسم محتفظاً ببنيته الذرية في حدها الأصغر أو يستمر حتى تندمج ألكتروناته مع نوى ذراته فيصير كتلة نيوترونية أو يستمر في الانكماش حتى يصير نظرياً إلى فردنة (نقطة).

العملاق الأحمر *Red Giant*

إحدى مراحل شيخوخة النجوم ينتفخ فيها النجم حتى يصير أضعاف حجمه ويبرد فيصير لونه إلى الأحمر. شمسنا ستصير حمراء في آخر حياتها وتبتلع كوكبي عطارد والزهرة.

قزم أبيض *White Dwarf*

نجم متكور بلغ نهاية عمره الفعال وتوقف عن توليد الطاقة بقدر كبير تكون كتلته الأصلية عادة قدر كتلة الشمس مرة وثلثاً أو أقل من ذلك. ومنها أقزام بيض مستقرة وأخرى غير مستقرة.

المستعر الأعظم *Supernova*

إذا ما حصل أن وجد ثنائي مؤلف من نجم آل إلى أن يصير قزماً أبيض ورافقه نجم آخر تكور بعده حتى آل إلى عملاق أحمر فإن من المرجح أن يحاول القزم ابتلاع العملاق الأحمر المتضخم إذا كانت المسافة بينهما مناسبة. وفي هذه الحالة ينشأ من الغازات والمواد المنهمرة على القزم الأبيض قرص حوله يسمى قرص التنامي Accresion Disk وبزيادة الضغط وارتفاع درجة الحرارة يمكن أن يندمج الهيدروجين والهليوم بل الكاربون المنهمر الذي في هذا القرص في تفاعل انفجاري هائل يطلق كمية هائلة من الطاقة في وقت قصير فيسمى هذا المستعر. وهنالك مستعرات عظمى تظهر لبضعة أيام. تتميز المستعرات العظمى بأن لها نورانية ثابتة لوحدة الكتلة وهذا ما جعل الفلكيين يعتمدونها كمصابيح قياسية لقياس الأبعاد الفلكية الكبيرة.

النجم النيوتروني *Neutron Star*

نجم متكور انسحقت ذراته حتى صارت أغلبها نيوترونات. يتسم النجم النيوتروني بمجال مغناطيسي شديد.

الومّاض *Pulsar*

نجم نيوتروني يدور حول نفسه سريعا مما يؤدي إلى ظهور النجم مومضاً بمعدل ثابت وعندما يسمى هذا النجم (الومّاض).

الأجرام شبه النجمية (كوازارات) Quasi-Stellar Objects

أجرام ذات تبعث بطاقة هائلة ربما كانت نوى مجرية في طور التكوين. غالبا ما تكون هذه الأجرام على مسافات فلكية كبيرة.

الثقب الأسود *Black Hole*

نطاق زمكاني مغلق محاط بحدود تسمى أفق الحدث وهي الحدود التي تكون عندها سرعة الافلات مساوية لسرعة الضوء. ربما كان الثقب الأسود نجماً كبيراً مضي في مسلك التكوير حتى أصبح مختزلاً إلى فردنة حقيقية محاطة بأفق الحدث. وربما كان الكون كله ثقباً أسود.

التأثير عن بعد *Action-at-a- distance*

مبدأ نظري قصد به تفسير تأثير المجال الجاذبي الكتلوي بين الأشياء عن بعد بسرعة لانهائية. استخدمه نيوتن لتفسير فعل الجاذبية الكونية بحسب وصفه لها. وهو على الحقيقة أوسع من هذا القصد إذ ينطبق مقصده على كل تأثير يحصل آنيا دون زمن بين الأثر والمؤثر.

التجانس الكوني *Cosmic Homogeniety*

تجانس التوزيع المادي بالمدى الواسع حتى يبدو الكون على نفس الهيئة من أية نقطة نظرنا إليه. وكل نقطة في الكون هي مركز.

التناسق الكوني *Cosmic Isotropy*

تجانس خواص الكون بالمدى الزاوي الواسع حتى يبدو الكون على نفس الهيئة من أية زاوية نظرنا إليه.

المبدأ الكوني التام *Perfect Cosmological Principle*

مبدأ يقرر أن الكون متجانس ومتناسق على المدى الواسع وفي كل الأزمنة.

الفردنة *Singularity*

نقطة رياضية مفترضة ذات أثر فيزيائي، ربما كانت كتلة عظيمة إنكمشت (تكورت) بفعل قوى جذبها الكتلوي الذاتي. وفي الإصطلاح الكوزمولوجي هي النقطة التي انبثق عنها الكون في أول نشأته.

نماذج فريدمان الكونية *Friedmann Cosmological Models*

حلول اقترحها فريدمان لمعادلات أينشتاين تحت فروض معينة لمحتوى المادة والطاقة في الكون أفضت الى ثلاثة حالات ممكنة لنشأة الكون وتطوره. جميعها تنطلق من نقطة تسمى الفردنة.

الكون المغلق *Closed Universe*

نموذج كوني يبدأ فيه الكون متوسعا بتسارع لكنه لا يلبث أن يتباطأ حتى يقف وينعكس توسعه إلى إنكماش ليعود كما بدأ أول مرة.

الكون المفتوح *Open Universe*

نموذج كوني ذي تحدب سالب يتوسع بموجبه الكون بتسارع دوماً وهو أحد نماذج فريدمان الثلاثة.

الكون المنبسط *Flat Universe*

نموذج كوني يكون فيه الجزء المكاني من العالم منبسطاً كورقة. وهو بموجب نماذج فريدما يتوسع أبداً إلى ما لانهاية.

تضخم الكون *Cosmic Inflation*

نظرية وضع أول صيغة لها ألن كوث تقول أن الكون مر بمرحلة توسع سريع جداً في باكورة تكوينه حتى تضاعف حجمه آلاف الملايين من المرات خلال زمن قصيرجداً.

نظرية العوالم المتعددة *Multiverse Theory*

تفسير طرحه هيو أفريت الأمريكي في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي لتفسير اللاحتم في ميكانيك الكموم والتوزيع الاحتمالي لقيم الكميات الفيزيائية، يقضي بأن العالم على حقيقته هو مجموعة عوالم

متداخلة مع بعضها لايفتأ ظهور أحدها حتى يختفي ليظهر آخر. وبذلك تكون قيم الأشياء المختلفة هي ليس إلا أقيامها الآنية في عوالم متعددة.

التنغيم الدقيق *Fine Tuning*

مبدأ يقرر أن الثوابت الكونية جميعاً بما فيها كتل الجسيمات وخواصها قد تم ضبطها على نحو دقيق في بداية خلق الكون، ولو تغيرت قليلاً لتغيرت مجمل بنية الكون وبالتالي ربما لن يكون وجودنا فيه ممكناً. وهذا ما يوحي بوجود قصد من الخلق.

المبدأ الإنساني (مبدأ التسخير) *Anthropic Principle*

مبدأ يقول أن التنغيم الدقيق إنما كان لقصد خلق الإنسان في هذا الكون وتسخير الطبيعة لتساعده على البقاء. ولذا أجد أن التسمية الصحيحة لهذا المبدأ هي مبدأ التسخير.

الكون المتسارع *Accelerating Universe*

في نهاية القرن العشرين ولدى محاولة التحقق من المسافات الكونية تم الكشف عن المستعرات العظمى وسيلة لتحديد المسافات الكونية لكونها مصابيح ثابتة النورانية. وبالتالي يمكن تحديد مواقعها بدقة إذا عرفنا سطوعها الذي يقاس بالفوتومترات. ومنها عُرف أن الكون في حالة تسارع كبير. إذ تدل الأرصاد على ذلك. وقد كان هذا التسارع هو السبب في فرض وجود الطاقة المظلمة.

مراجع الكتاب

Books:

1. M.S. Longair, *Theoretical Concepts in Physics*, Cambridge University Press, 1984.
2. S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, Wiley, 1972.
3. M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, John Wiley and Son, 1974.
4. J. von Neumann *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*، trans. Robert T. Beyer (Princeton, New Jersey: Princeton University Press، 1955).
5. Belinfante, *A Survey of Hidden Veriables Theories*, Pergamon Press, Oxford, 1974.
6. Belinfante, *Measurements and Time reversal in Objective Quantum Mechanics*, Pergamon Press, Oxford, 1975.
7. J.S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 1988.
8. C. Lampeter, *Divine Action in the Framework of Scientific Knowledge*, (Christianity in the 21 century 2005).
9. N.D. Berrill and P.C.W. Davies, *Quantum Fields in Curved Spacetime*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
10. J.J. Sakuri, *Advanced Quantum Mechanics*, New York: Addison-Wesley 1967.
11. J.D Bjorken and S.D. Drell, *Relativistic Quantum Fields*, John Wiley, 1976.
12. M. Kaku & J. Thompson, *Beyond Einstein*, Oxford University Press, Oxford 1997.

13. Brian Greene, *The Elegant Universe*, W.W. Norton & Co. 1983.

14. S. Kennedy, *The life and works of Ibn Al-Shatier*, University of Alleppo, Alleppo 1976.

15. S. Kennedy, *Studies in the Islamic Exact Sciences*, American University of Beruit, 1983.

16. K. Thorne, *Black Holes and Time Warps*, W.W. Norton and Company, New York: 1994.

17. S. Weinberg, *The First Three Minutes*, Basic Books, 1994.

18. U. Al-Ahmad, *Non-Singular Cosmogical Model based on Back-Reation of Quantum Fields*, M.Sc thesis, Yarmouk University (2003).

19. Paul Davies, Other Worlds, Pengiun Books, (1990).

20. Lee Smolin, *The Trouble with Physics*, New York: Houghten Mifflin Co., (2006).

21. Brian Greene, The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality, New York: Alfred A. Knopf, (2005).

22. Gerard 't Hooft, *In Search of the Ultimate Building Blocks*, Cambridge: Cambridge University Press, (1996).

Journal Articles:

1. A. Einstein, “Physics and Reality”, Journal of the Franklin Institute **221**, 349, (1936).

2. T. Kaluza, "Zum Unitätsproblem in der Physik". *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin. (Math. Phys.)*: 966–972, (1921).

3. O. Klein, "Quantentheorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie". *Zeitschrift für Physik a Hadrons and Nuclei* **37** (12): 895–906, (1926).

4. A. Einstein, Does the Inertia has Energy? Annals of Physics, 18, 639 (1905).

5. A. Einstein, Einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin), Physikalisch-mathematische Klasse, 414–419, (1925).

6. A. Einstein, A New Form of the General Relativistic Field Equations, Annals of Mathematics, **62**, 128–138, (1955).

7. J. D. Barrow, Andrew R Liddle and Cédric Pahud , Intermediate inflation in light of the three-year WMAP observations, Phys.Rev. **D74**: 127305, (2006).

8. M. Born, W. Heisenberg and P. Jordan, "Zur Quantenmechnik II", Z. Phys. **35**, 557, (1926).

9. H. Everett III, "Relative State Formulation of Quantum Mechanics", Rev. Mod. Phys. **29**, 454, (1957).

10. J.A. Wheeler, Assessment of Everett's 'relative state' formulation of quantum theory, Rev. Mod. Phys. **29**, 463, (1957).

11. M.B. Altaie, Re-Creation: A Possible interpretation of Quantum Indeterminism, arxive 0907.3419, July (2009).

12. A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, Can the quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?, Phys. Rev. **47**, 777-780, (1935).

13. M.B. Altaie and E. Malkawi, J. Phys. A (Math. Gen.) **33**, 7093-7102, (2001).

14. G.'t Hooft, TransPlanckian Particles and the Quantization of Time, Class. Quant. Grav. 16, 395-405, (1999).

15. M.B. Altaie, An upper limit on the region of particle creation by black holes, Hadronic J. **26**, 779-794, (2003).

16. J.S. Dowker and R. Critchley, Phys. Rev. D17, (1976).

17. U. Mohideen and Anushree Roy**,** "Precision Measurement of the Casimir Force from 0.1 to 0.9 μm"**,** *Phys. Rev. Lett.* **81**, 004549 (1998).

18. L.H. Ford, Phys. Rev. **D11**, 3370, (1975).

19. J. S. Dowker and R. Critchley, J. Phys. **A 9**, 535, (1976).

20. J.S. Dowker and M.B. Altaie, Phys. Rev. **D17**, 417, (1978).

21. M.B. Altaie and J.S. Dowker, Phys. Rev. **D18**, 3557, (1978).

22. M.B. Altaie, Phys. Rev. **D65**, 0440328, (2003).

23. M.B. Altaie and M. R. Setare, Phys. Rev. **D67**, 044018, (2004).

24. B.L. Hu, Phys. Lett. **103B**, 331, (1981).

25. G. Kennedy, J. Phys. A: Math. Gen. **11**, L77, (1978).

26. M.B. Altaie, J.Phys. A: Math. Gen. **11**, 1603, (1978).

27. M.B. Altaie and E. Malkawi, J. Phys. A: Math. Gen. **33**, 7093-7100, (2000).

28. L. Parker and Y. Zhang, Phys. Rev. **D44**, 2421, (1991) Phys. Rev. **D47**, 2483, (1993).

29. H.E. Haber and H. A. Weldon, Phys. Rev. Lett. **46**, 1497, (1981).

30. H.E. Haber and H. A. Weldon, Phys. Rev. D25, 502, (1982).

31. M.R. Setare and M. B. Altaie, Casimir Energy for Spherical Shell in Bacground of Schwarzschild Black Hole, General Relativity and Gravitation **36**, 331, (2004).

32. A. Grumbum, The Pesedu Problem of Creation in Physical Cosmology, Philosophy of Science, **56**, 373-394, 1989.

33. E. Witten, *Duality,* Spacetime and Quantum Mechanics, Physics today, May 1997.

34. A.R. Liddle, Inflationary cosmology: theory and phenomenology, Class. Quantum Grav., **19**, 3391-3401, (2001).

35. N. Turok, A Critical Review of Inflation, Class. Quantum Grav. 19, 3349-3367, (2001).

36. E. Komatsu, et. al., Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation, axiv: 0803.0547v2, Oct. (2008).

37. S. Carroll, The Cosmological Constant, Living Reviews in Relativity, 4, (2000).

38. V.Sahni and A. Starobinsky, The Case for a Positive Cosmological term, Int.J.Mod.Phys. **D9**:373-444, 2000.

39. M.B. Altaie and M.R. Setare, Finite-temperature scalar fields and the cosmological constant in an Einstein universe, Physical Review **D67**, 044018, (2003).

40. M.B. Altaie, On the Cosmological Constant, Hadronic J. **26**, 173-192 (2003).

41. M.B. Altaie, Re-Creation: A Possible Interpretation of Quantum Indeterminism, arxive 0907.3419, July (2009).

المراجع العربية

1. أبو حامد الغزالي، تهافت التهافت، تحقيق: مايكل مارمورا، نشر جامعة بركهام يونغ، الولايات المتحدة الأمريكية، 2000.

2. إبن حزم الأندلسي، الفِصل في الملل والأهواء والنحل، مكتبة الخانجي القاهرة.

3. ابن فارس، معجم المقاييس في اللغة، دار الفكر، بيروت 1994.

4. خيرالدين الزركلي، الأعلام، دار العلم للملايين، بيروت 1974.

5. منى أحمد أبو زيد، التصور الذري في الفكر الفلسفي الإسلامي، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت 1994

6. محمد باسل الطائي، مدخل إلى النسبية الخاصة والعامة، مطبعة جامعة الموصل 1974.

7. محمد باسل الطائي، علم الفلك والتقاويم، دار النفائس، بيروت 2003.

8. محمد باسل الطائي، دقيق الكلام: رؤية جديدة لفلسفة الطبيعة عند المتكلمين المسلمين، عالم الكتب الحديث، 2009.

كتب للمؤلف

1. مدخل إلى النسبية الخاصة والعامة، جامعة الموصل 1974.
2. الجسيمات الأولية، جامعة الموصل 1974.
3. الألكترونيات المبسطة، جامعة الموصل 1989.
4. خلق الكون بين العلم والأيمان، دار النفائس، بيروت 1998.
5. علم الفلك والتقاويم، دار النفائس، بيروت 2003.
6. دقيق الكلام: الرؤية الإسلامية لفلسفة الطبيعة، عالم الكتب الحديث، 2009.
7. صيرورة الكون، عالم الكتب الحديث، 2009.

عنوان المؤلف وموقعه الألكتروني:

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة اليرموك

اربد، الأردن

الموقع الألكتروني: www.cosmokalam.net

البريد الألكتروني: basel_tai@yahoo.com